

Jami Hautala

**Seinäjoen keskussairaalan ravintokeskuksen  
kylmätilojen jäähdytyksestä syntyvän lauhdelämmön  
hyödyntäminen**

Opinnäytetyö

Kevät 2018

SeAMK Tekniikka

Rakennustekniikan Tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: LVI-tekniikka

Tekijä: Jami Hautala

Työn nimi: Seinäjoen keskussairaalan ravintokeskuksen kylmätilojen jäähdytyksestä syntyvän lauhdelämmön hyödyntäminen

Ohjaajat: Kai-Kristian Vimpari, Marita Viljanmaa

Vuosi: 2018

Sivumäärä: 66

Liitteiden lukumäärä: 2

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia Seinäjoen keskussairaalan ravintokeskuksen kylmätilojen jäähdytyksestä syntyvän lauhdelämmön hyödyntämistä. Hyödyntäminen tutkittiin tarvittavassa laajuudessa, jotta opinnäytetyön tuloksia voitaisiin käyttää perusteena laitoksen toteuttamiselle.

Työssä käydään läpi jäähdytysprosessia ja sen komponentteja yleisesti, sekä kylmäsäilytyksen ja kylmätehontarpeen laskennan teoriaa. Laskennan teorian avulla määritettiin lauhdutuksesta saatavan lämpöenergian määrä, jota edelleen käyttämällä pystyttiin arvioimaan mihin järjestelmään lämpöenergiaa pystyttäisiin hyödyntämään tehokkaimmin. Hyödynnyksen tutkittaviksi järjestelmiksi valittiin ilmanvaihdon lämmöntalteenottojärjestelmän esilämmittäminen ja lämpöisen käyttöveden esilämmittäminen.

Paremmen hyödynnyskohteen määrittämiseksi laskettiin saadun säästön ja laitteiston investointikustannuksen suhde. Investointikustannusten avulla pystyttiin myös todentamaan systeemin rakentamisen kannattavuus.

Avainsanat: kylmälaitokset, kylmätilat, lämmöntalteenotto, kustannuslaskenta, suunnittelu

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: HVAC Engineering

Author: Jami Hautala

Title of thesis: Utilizing the Waste Heat Produced by the Refrigeration Systems of the Food Distribution Centre at Seinäjoki Central Hospital

Supervisors: Kai-Kristian Vimpari, Marita Viljanmaa

Year: 2018

Number of pages: 66

Number of appendices: 2

---

The purpose of the thesis was to study the possibilities to utilize the waste heat produced by the refrigeration systems of the food distribution center at Seinäjoki Central Hospital. Utilization of the waste heat recovery was studied so thoroughly that the thesis could be used as the basis for decision making concerning the realization of the system.

The thesis explains the cooling process and its related components in general, theory of cold storage and calculation of refrigeration capacity. The heating capacity that could be recovered from condensate was used to determine which system would be best to be used to get the best efficiency. Systems that were chosen to be analyzed for capitalizing heat power were ventilation systems heat recovery units preheating and preheating of domestic hot water.

The ratio of the savings gained by using heat recovery to the investment in the devices was used to determine a better capitalizing system. Investment costs could also be used to determine if building the system were profitable.

Keywords: refrigeration device, coldrooms, heat recovery, profitability calculation, planning work

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ .....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo .....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	9
1 JOHDANTO .....	10
2 KYLMÄLAITOKSEN KOMPONENTIT JA JÄÄHDYTYSPROSESSIN TOIMINTA.....	11
2.1 Kylmäprosessi teoriassa ja käytännössä .....	11
2.2 Komponentit .....	12
2.2.1 Kompressorit.....	13
2.2.2 Lauhduttimet .....	15
2.2.3 Paisuntalaitteet .....	18
2.2.4 Höyrystimet .....	19
2.2.5 Putkistot .....	20
2.3 Kylmäaineet .....	21
2.3.1 Kylmäaineiden kehitys .....	21
2.3.2 Kylmäaineiden turvallisuusluokittelu .....	22
2.3.3 Kylmäaineiden ympäristövaikutusluvut .....	23
2.3.4 Luonnonmukaiset kylmäaineet.....	24
2.3.5 HFC-kylmäaineet .....	26
3 KYLMÄTEHONTARPEEN LASKENTA KYLMÄ- JA PAKASTEVARASTOILLE .....	27
3.1 Kylmäsäilytys ja pakkasäilytys .....	27
3.2 Laskennan perusteet.....	27
3.2.1 Rakenteiden kautta tapahtuva lämpövuoto .....	28
3.2.2 Oven kautta tapahtuva ilmanvaihto sekä muu ilmanvaihto .....	29
3.2.3 Tuotteiden hengityslämpö sekä tuotevaihto .....	29
3.2.4 Valaistuksen ja henkilöiden lämmönluovutus.....	31

3.2.5 Laitteiden, puhaltimien ja sähkösulatuksen aiheuttamat lämpökuormat .....	32
3.3 Kylmäkoneiston tehontarve .....	33
3.4 Huoneisiin tulevan lämpöenergian jakautuminen päivän tunneille .....	35
<b>4 KYLMÄLAITOKSEN LÄMMÖNTALTEENOTTO.....</b>	<b>39</b>
4.1 Välillisen lauhdutuksen lämmöntalteenotto .....	39
4.2 Suoran lauhdutuksen lämmöntalteenotto .....	40
<b>5 SEINÄJOEN KESKUSSAIRAALAN RAVINTOKESKUKSEN KYLMÄLAITOKSET .....</b>	<b>42</b>
5.1 Järjestelmän kuvaus .....	42
5.2 Järjestelmien laajuus ja teho .....	42
<b>6 KYLMÄLAITOKSEN LAUHDELÄMMÖN HYÖDYNTÄMINEN .....</b>	<b>43</b>
6.1 Lauhdelämmöntalteenottojärjestelmän kuvaus .....	43
6.2 Lämpövaraajan mitoitus .....	44
6.2.1 Lämpövaraajan mitoitus käyttöveden esilämmittämisessä.....	44
6.2.2 Lämpövaraajan mitoitus ilmanvaihdon esilämmittämisessä.....	49
6.3 Lämmöntalteenotto lämmönsiirtimien mitoitus ja valinta .....	54
6.4 Lauhdelämmön hyödyntäminen kohteessa .....	55
6.4.1 Käyttöveden esilämmitys .....	56
6.4.2 Rakennuksen ilmanvaihdonlämmitys .....	58
6.4.3 Rakennuksen ilmanvaihdonlämmitys sekä käyttöveden esilämmitys .....	59
6.5 Lauhdelämmön talteenottojärjestelmän laitteiden investointikustannukset	61
<b>7 JOHTOPÄÄTÖKSET .....</b>	<b>63</b>
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>64</b>
<b>LIITTEET .....</b>	<b>66</b>

## Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Teoreettinen kylmäprosessi log p, h-tilapiirroksessa (Rautala 2010). ....	12
Kuvio 2. Todellinen kylmäprosessi (Hakala & Kaappola 2011, 13). ....	12
Kuvio 3. Vasemmalta oikealle avo-, hermeettinen ja puolihermeettinen kompressor	13
Kuvio 4. Ruuvikompressor	14
Kuvio 5. Rotaatiokompressorin toimintaperiaate	14
Kuvio 6. Scroll-kompressor	15
Kuvio 7. Avoin yksiportainen turbokompressor	15
Kuvio 8. Puhallintoiminen ilmalauhdutin	16
Kuvio 9. Ilmalauhduttimen tyypillinen virtausjärjestys.	16
Kuvio 10. Periaatekuva moniputkilauhduttimen rakenteesta	17
Kuvio 11. Levylämmönsiirtimen toimintaperiaate	18
Kuvio 12. Vasemmalla kuvattuna lauhtuminen kaksoisputken vaipassa ja oikealla kaksoisputkilauhdutin avattavilla putkikäyrillä	18
Kuvio 13. Periaatekuva kylmäkoneistojen liitännästä nestelauhdutuspiiriin ja nestelauhdutuksen LTO:n liitännästä nestelauhdutukseen	44
Kuvio 14. Periaatekuva nestelauhdutuksen LTO:n liitännästä käyttöveden esilämmitykseen ja IV-LTO glykolipiiriin esilämmittämiseen	56
Kuvio 15. Lauhdelämmön vuosittaisen hyödyntämiskapasiteetin diagrammi	61
Taulukko 1. Kylmäaineiden turvaluokitustaulukko	23

Taulukko 2. Epäorgaanisten ja HC-kylmäaineiden ominaisuustaulukko .....	25
Taulukko 3. HFC-kylmäaineiden ominaisuustaulukko.....	26
Taulukko 4. Ravintokeskuksen kylmä- ja pakkashuoneiden sekä pikajäähdytysuoneen ja jäävesipankin lähtötietoja.....	28
Taulukko 5. Eri varastotyyppien tuotevaihdon oletusarvoja .....	30
Taulukko 6. Tuotteiden oletusarvoja ominaislämpötilalle eri tuotelämpötiloissa ...	30
Taulukko 7. Eri valaisintyyppien muuntokertoimia .....	31
Taulukko 8. Keskimääräiset lämmönluovutusarvot henkilöä kohden eri huonelämpötiloissa .....	32
Taulukko 9. Kylmähuoneen kylmätehon laskentapohja kylmähuoneesta 00.184 .	35
Taulukko 10. Aputaulukko taulukon 9 arvojen muuttamiseen taulukolle 11.....	36
Taulukko 11. Kylmähuoneen 00.184 lämpökuorman jakautuminen päivän eri kellonajoille. ....	37
Taulukko 12. Yhteenveto jokaisen kylmä- ja pakkashuoneen lämpökuormista päivän eri kellonaikoina.....	38
Taulukko 13. Tammikuun työpäivän lämpötila ja energialaskelmat .....	46
Taulukko 14. Ulkoilman lämpötilan vaikutus lauhdenesteen lämpötilaan.....	48
Taulukko 15. Lauhdenesteen lämpötilat eri ulkolämpötiloissa .....	48
Taulukko 16. Lämpövaraajan mitoitus käyttöveden esilämmittämisessä .....	49
Taulukko 17. Ilmanvaihdon lämpötehon tarve kuukausikohtaisesti.....	50
Taulukko 18. Lauhdutuksen lämmöntalteenotosta saatavan lämpöenergian kuukausikohtainen määrä .....	51
Taulukko 19. Lämmitystarveluku Seinäjoen vertailupaikkakunnalla.....	53

Taulukko 20. Ilmanvaihdon lämmityksen lämpöenergian määrä Seinäjoella ilman ilmanvaihdon lämmöntalteenottoa .....	53
Taulukko 21. Ilmanvaihdon lämmityksen lämpöenergian määrä Seinäjoella ilmanvaihdon lämmöntalteenoton kanssa .....	53
Taulukko 22. Ilmanvaihdon lämmityksen lämpöenergian määrä Seinäjoella ilmanvaihdon lämmöntalteenoton kanssa sekä kylmäkoneiden lämmöntalteenoton hyödynnyksellä .....	54
Taulukko 23. Lämpövaraajan mitoitus ilmanvaihdon LTO:n esilämmittämisessä .	54
Taulukko 24. Lämmöntalteenotto lämmönsiirrinten mitoitustiedot.....	55
Taulukko 25. Käyttöveden lämmittämiseen käytetty lämpöenergia vuonna 2017 .	57
Taulukko 26. LTO:n hyödyntämisen ja hyödyntämättömyyden suhde .....	57
Taulukko 27. LTO-energian hyödyntämisen päivittäinen säästö käyttöveden esilämmittämisestä .....	58
Taulukko 28. Vuodessa saavutettava säästö käyttöveden esilämmittämisellä .....	58
Taulukko 29. Kuukausikohtainen säästö ilmanvaihdon lämmöntalteenottojärjestelmän lisälämmittämisellä lauhdelämmöntalteenoton avulla .....	59
Taulukko 30. Lauhdelämmön hyöty käyttöveden esilämmittämiseen .....	60
Taulukko 31. Lauhdelämmön optimi hyödynnys .....	60
Taulukko 32. Lauhdelämmön talteenottolaitteiston investointikustannukset .....	62
Taulukko 33. Lauhdelämmön talteenottojärjestelmän laitteiden takaisinmaksuaika .....	62



## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>LTO</b>	Lyhenne lämmöntalteenotosta. Lämmöntalteenotossa lämpöenergiaa talteenotetaan kyseessä olevasta järjestelmästä. Lämpöenergia varastoidaan ja hyödynnetään samassa järjestelmässä tai käytetään toisessa järjestelmässä.
<b>IV</b>	Ilmanvaihto. Lyhennettä käytetään esimerkiksi IV-koneen yhteydessä.
<b>p-%</b>	Seoksen väkevyys. Tämä lukuarvo kertoo seoksessa olevan toisen aineen massapitoisuuden. Esimerkiksi 40 p-% vesi/etyleeniglykoliseoksessa on 40 p-% etyleeniglykolia

## 1 JOHDANTO

Seinäjoen keskussairaala tilasi Granlund Pohjanmaa Oy:ltä ravintokeskuksen saneeraussuunnittelun, johon sisältyi LVIAKS-suunnittelu. Suunnittelun yhtenä osana alueena oli kylmä- ja pakastehuoneiden, sekä jäähdytyslaitteiden kylmäkoneistojen suunnittelu. Suunnittelun alussa heräsi kysymys, pystyttäisiinkö kylmäkoneistojen lauhdutuksesta syntyvää lämpöenergiaa hyödyntämään kohteen lämpöä tarvitsevilla järjestelmissä.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään kylmäkoneiston erilaisten lauhdelämmöntalteenottojärjestelmien toimivuutta kyseisessä kohteessa sekä laskentaa lauhdetehon määrästä, jota teoreettisesti pystyttäisiin hyödyntämään. Lisäksi työssä esitellään kylmäkoneistojen erilaisia komponentteja ja suunnitteluperusteita parhaan mahdollisen koneiston valinnalle.

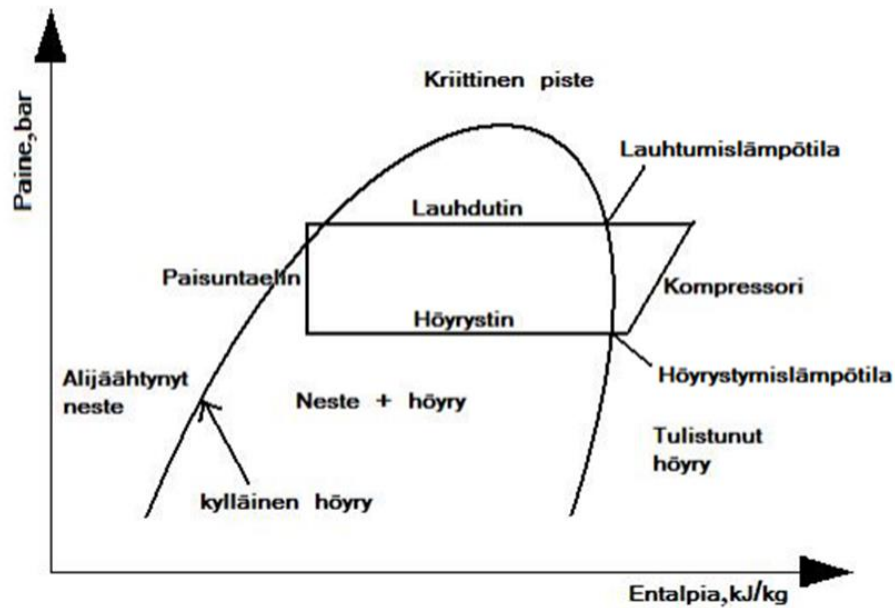
## **2 KYLMÄLAITOKSEN KOMPONENTIT JA JÄÄHDYTYSPROSESSIN TOIMINTA**

### **2.1 Kylmäprosessi teoriassa ja käytännössä**

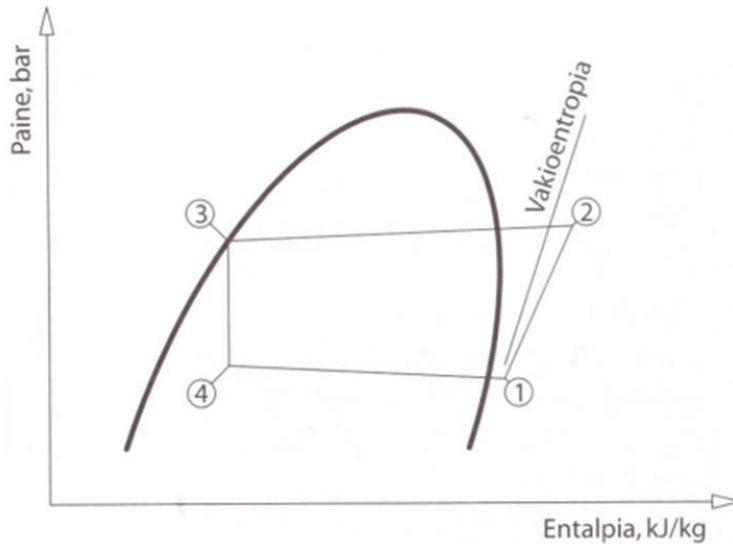
Teoreettisessa kylmäprosessissa ei oteta huomioon höyrystimessä ja kompressorissa tapahtuvia painehäviöitä. Myös imuputken ja ympäristön aiheuttamat lämpöhäviöt jäävät huomiotta. Teoreettisen prosessin avulla pystytään määrittämään nopeasti eri laskukaavoja hyväksikäyttäen kylmäkoneiston toiminta-arvoja. Tämä mahdollistaa kylmäkoneiston suunnittelun aloittamisen. Käytännön kylmäprosessi saadaan tietoon vasta laitteiston tarkkojen komponenttien ja putkipituuksien jälkeen, jolloin paine- ja lämpöhäviöarvot saadaan mitoitettua.

Käytännössä kylmäprosessi ei ole häviötön, vaan kompressorissa, lauhduttimessa ja höyrystimessä tapahtuu painehäviöitä. Myös lämpöhäviöitä tapahtuu puristuksessa ja imuputkessa. Imuputkeksi kutsutaan kylmälaitteiston matalapainepuolella olevaa putkiston osaa. Korkeapainepuolella olevaa putkiston osaa kutsutaan vastaavasti paineputkeksi. (Hakala & Kaappola 2011, 12-13.)

Kuviot 1. ja 2. esittävät teoreettisen ja käytännön kylmäprosessien eroja.



Kuvio 1. Teoreettinen kylmäprosessi log p, h-tilapiirroksessa (Rautala 2010).



Kuvio 2. Todellinen kylmäprosessi (Hakala & Kaappola 2011, 13).

## 2.2 Komponentit

Tässä opinnäytetyössä esitetyt kylmälaitoksen komponentit ovat laitoksen pääkomponentteja, jotka ovat työn kannalta tärkeitä. Muita komponentteja ei ole esitelty, sillä niillä ei ole vaikutusta kyseisen työn laskentaan tai arviointiin. Esitetyt komponentit ovat kompressori, lauhdutin, paisuntaventtiili, höyrystin ja laitoksen putkistot.

### 2.2.1 Kompressorit

Kompressorin tarkoitus kylmäkoneistossa on nostaa kylmäaineen painetta höyrystyslämpötilasta lauhtumislämpötilaan. Tämän paine-eron avulla kylmäaine siirtyy lauhduttimelta höyrystimelle.

Jaottelu kompressorien kesken tehdään niiden rakenteen mukaan. Näitä rakenteita ovat avo-, hermeettinen ja puolihermeettinen kompressor. (Kuvio 3)

**Avokompressor** toimii akselikytkimen tai hihnan välittämän voiman avulla, joka tuodaan kuoren läpi akselin avulla. Käyttökohteita kompressorilla ovat ajoneuvojen ilmastoinnin jäähdytyskoneistot, kuormatilojen kylmäkoneistot ja teolliset kylmäkoneistot.

**Hermeettinen** kompressor on vaihdettava sen rikkoutuessa, sillä sähkömoottori ja kompressor on sijoitettu tiiviisti hitsatun kuoren sisälle, joka tekee huollosta vaikeaa. Kompressoria käytetään pienissä kaupan kylmälaitteissa ja kylmähuoneissa, vedenjäähdytyskoneissa, lämpöpumpuissa, ilmastoinnin jäähdytyskoneissa sekä kotitalouksien jää- ja pakastekaapeissa.

**Puolihermeettisen** kompressorin etuna on sen avattava kuori, joka mahdollistaa korjaukset laitteiden rikkoutuessa. Kompressorin käyttökohteita ovat erityisesti kaupan kylmäkoneistot, prosessien jäähdytyskoneistot sekä ilmastoinnin jäähdytyskoneisto. (Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2011, 51–54.)

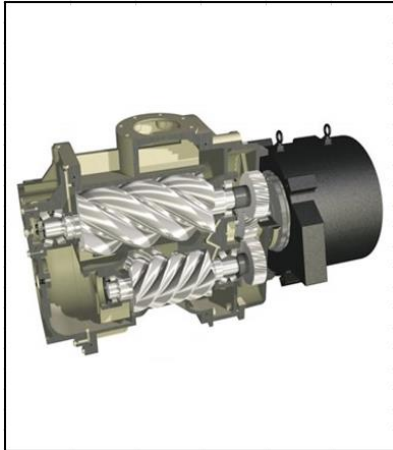


Kuvio 3. Vasemmalta oikealle avo-, hermeettinen ja puolihermeettinen kompressor (Ahlzell, [Viitattu 18.1.2018]. GEA, [Viitattu 18.1.2018]).

Kompressoreita on neljää eri tyyppiä: mäntä-, pyörivämäntäinen, kiertomäntäinen ja turbokompressor.

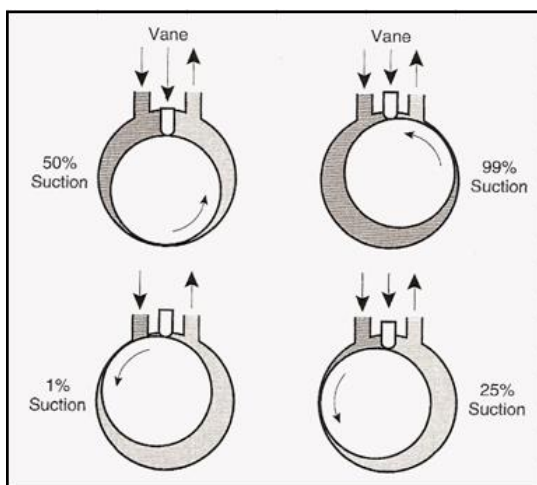
**Mäntäkompressorin** toimintaperiaate on verrattavissa auton moottorin mäntään. Höry puristetaan männän ylös ja alas suuntautuvan liikkeen avulla imupuolelta painepuolelle.

**Ruuvikompressor** on tunnetuin pyörivämäntäinen kompressorimalli. Useimmiten ruuvikompressorien toiminta perustuu kahteen roottoriin, jotka pyörivät toisiaan vastaan. (kuvio 4)

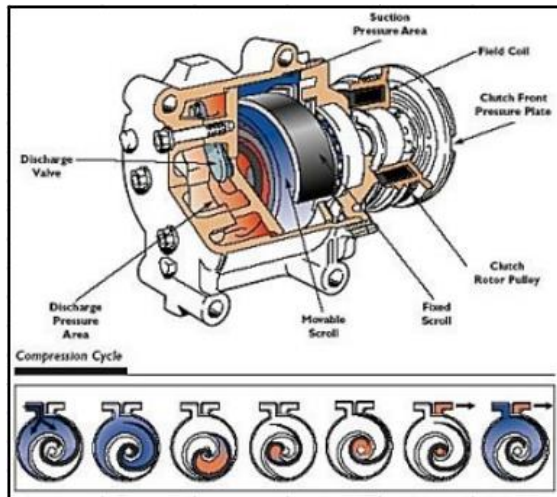


Kuvio 4. Ruuvikompressor (Teca, [Viitattu 15.3.2018]).

**Kiertomäntäkompressorimalleja** ovat rotaatiokompressor (kuvio 5) ja kierukkakompressor, josta käytetään scroll-nimitystä (kuvio 6). Scroll-kompressorissa puristus tapahtuu kierukoiden välissä, joista toinen on kiertävä ja toinen kiinteä kierukka. Tällä prosessilla höyry puristuu kolmen kierroksen aikana imupuolelta painepuolelle.

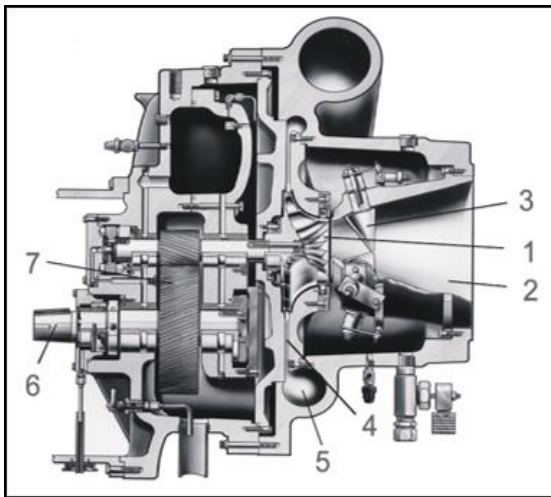


Kuvio 5. Rotaatiokompressorin toimintaperiaate (Global Spec, [Viitattu 15.3.2018]).



Kuvio 6. Scroll-kompressor  
(Kivisaari 2016).

Edellä mainitut kompressorit toimivat staattisella puristuksella, eli kaasua puristetaan suuremmasta tilavuudesta pienempään tilavuuteen. Turbokompressorissa kaasun painetta nostetaan Bernoullin lain mukaisesti antamalla kaasumassalle liike-energiaa, joka tapahtuu kompressorin juoksupyörällä. (Kuvio 7)



Kuvio 7. Avoin yksiportainen turbokompressor  
(Aalto, Alijoki, Hakala, Hirvelä, Kaappola, Mentula, & Seinelä 2008, 217.)

## 2.2.2 Lauhduttimet

Lauhduttimen tarkoitus jäähdytysprosessissa on muuttaa kylmäaine höyrystä nesteeksi luovuttamalla lämpöenergiaa ympäristöönsä. Lauhdutusjärjestelmiä on

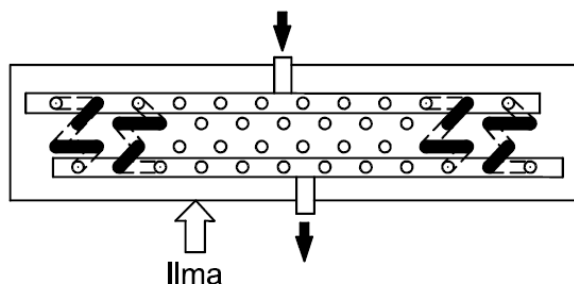
suoria ja välillisiä. Suorassa järjestelmässä lauhduttimet ovat yleisesti ilmalauhduttimia ja välillisessä järjestelmässä neste- tai vesilauhduttimia.

Ilma- ja nestejäähdytteiset lauhduttimet ovat useimmin käytettyjä lauhduttimia. Erityistilanteissa, jolloin on käytössä halpaa vettä, voidaan käyttää myös vesijäähdytteistä lauhduttinta. Rakenteeltaan neste- ja vesijäähdytteiset lauhduttimet ovat samankaltaisia.

**Ilmalauhdutin** laitteena muodostuu alumiinilamellista, puhaltimista sekä kylmäaineesta riippuen eri materiaaleista valmistetusta putkistosta. Kylmäaineputkistoissa kylmäaineessa oleva lämpöenergia siirtyy puhaltimien avulla ympäröivään ilmaan. Lauhduttimen etuina on luotettavuus, helppo huollettavuus, taloudellisuus sekä jäätymisvaaran puuttuminen. Haittoja ovat suuri kylmäainetäytös, tilantarve sekä melu. (Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2011, 55.) (Kuvio 8 ja 9)



Kuvio 8. Puhallintoiminen ilmalauhdutin (Alfa Laval).



Kuvio 9. Ilmalauhduttimen tyypillinen virtausjärjestys. (Aalto, Alijoki, Hakala, Hirvelä, Kaappola, Mentula, & Seinelä 2008, 217).

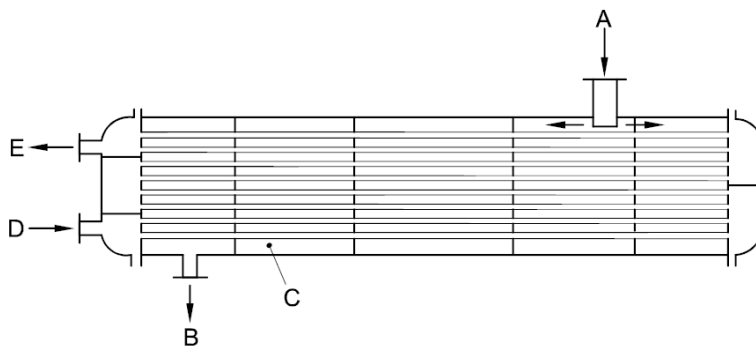
**Nestelauhduttimia** on rakenteeltaan moniputki-, levylämmönsiirrin- ja koaksiaalilauhduttimia.



Moniputkilauhdutin muodostuu runkovaipasta, jonka sisäpuolella on putkisto. Lauhduttimen vaipassa kiertää kylmäaine, joka luovuttaa energian putkissa kiertävään lauhdutusnesteeseen. (Kuvio 10)

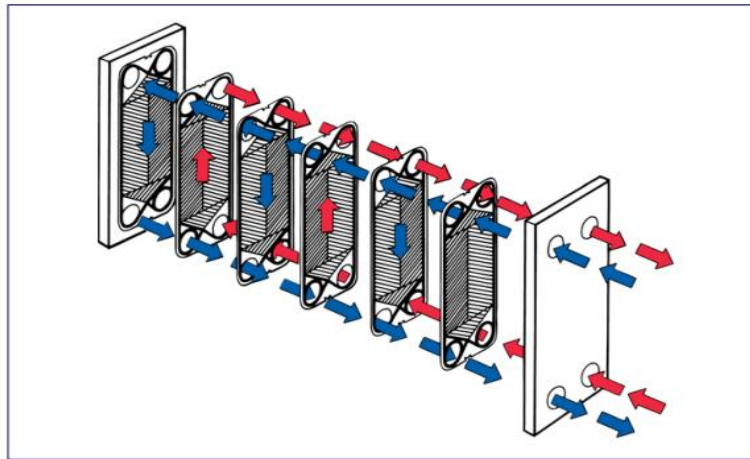
Kuvion 10. Selitteet:

- A. höyry
- B. lauhde
- C. nestetila
- D. menovesi
- E. paluuvesi



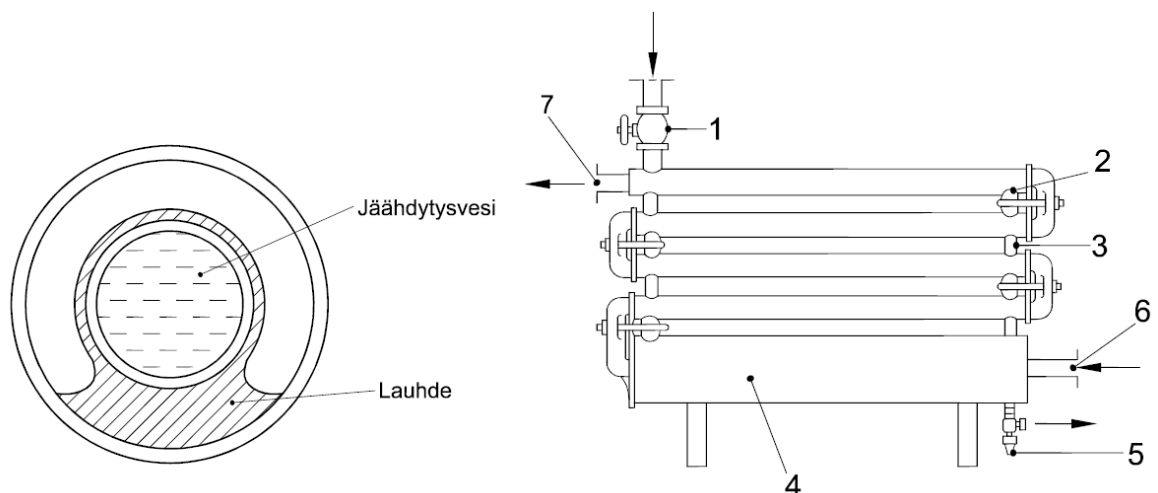
Kuvio 10. Periaatekuva moniputkilauhduttimen rakenteesta (Aalto, Alijoki, Hakala, Hirvelä, Kaappola, Mentula, & Seinälä 2008, 206).

Levylämmönsiirrinlauhdutin koostuu poimutetuista levyistä, jotka on juotettu yhteen kuparilla tai nikkelillä. Levyvälejä on lauhduttimessa useita ja lauhdutusprosessi perustuu joka toisessa välissä virtaavaan kylmäaineeseen ja joka toisessa kiertävään lauhdutettavaan nesteeseen. (Kuvio 11)



Kuvio 11. Levylämmönsiirtimen toimintaperiaate (Jonsson & Westman. 2011, 22).

Koaksiaalilauhdutin on rakenteeltaan vaippaputki, jonka sisälle on sijoitettu yksi tai useampi nesteputki. Lauhtuminen tapahtuu vaippaputkessa, jotta lauhdeneste ei peitä lämmönsiirtopintaa. Kylmäaine ja lauhdeneste virtaavat eri suuntiin ja näin mahdollistetaan lämpöenergian siirtyminen kylmäaineesta nesteeseen. (Kuvio 12)



Kuvio 12. Vasemmalla kuvattuna lauhtuminen kaksoisputken vaipassa ja oikealla kaksoisputkilauhdutin avattavilla putkikäyrillä (Aalto, Alijoki, Hakala, Hirvelä, Kaappola, Mentula, & Seinelä 2008, 205).

### 2.2.3 Paisuntalaitteet

**Termostaattisen paisuntaventtiilin** tehtävä on hallita kylmäaineen ruiskutusta höyrystimeen sen tulistuksen avulla. Tulistuksen noustessa paisuntaventtiili aukeaa ja päästää lisää kylmäainetta höyrystimeen, kun taas tulistuksen laskiessa venttiili

sulkeutuu. Tämä toiminta perustuu höyrystimen jälkeisen tuntoelimen paineen ja lämpötilan nousuihin sekä laskuihin, jolloin imuputkesta ohjataan paine kapillaariputkea pitkin venttiilin kalvon yläpuolelle ja siitä suuttimen neulalle.

**Elektroniset paisuntaventtiilit** ovat toiminnaltaan pulssittavia, askelmoottoreita tai jatkuvasäätöisiä. Mittaustulokset höyrystimen jälkeisestä tulistuksesta tulevat lämpötila-anturilla sekä painelähettimellä. Tämä onkin suurin ero termostaattisten ja elektronisten paisuntaventtiilien välillä. Termostaattisessa venttiilissä paine ohjataan suoraan venttiilille imuputkesta, joka säättää sen toimintaa, kun taas elektroninen saa tietonsa mittalaitteiden avulla ja säätyy sen mukaan. (Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2011, 57-58.)

#### 2.2.4 Höyrystimet

Höyrystimen avulla suoritetaan haluttu tilan jäähdyttäminen. Höyrystimeen tuleva kylmäaine sitoo lämpöenergiaa muuttaen kylmäaineen höyryksi ja laskien huoneen lämpötilaa. Malli ja toimintaperiaate riippuvat valitusta höyrystystavasta, joita ovat suorahöyrystys ja välillinen höyrystys. Rakenteeltaan höyrystimet ovat lauhduttimien kanssa samankaltaisia.

Suorassa höyrystyksessä höyrystin sijaitsee fyysisesti jäähdytettävässä tilassa, jossa kylmäaine kiertää sitoen lämpöenergiaa. Suorahöyrysteisessä järjestelmässä höyrystin voi olla luonnollisen ilmankierron höyrystin tai puhallinhöyrystin. Luonnollisen ilmankierron höyrystimen toiminta perustuu höyrystimen kylmentämän ilman painumiseen alaspäin, jolloin lämpimän ilman noustessa ylöspäin syntyy ilmavirtaus lamellien läpi. Luonnollista kiertoa käytetään yleisesti kylmähuoneissa ja varastoissa. Puhallinhöyrystin käyttää ilman kierrättämiseen sähkömoottorilla toimivia puhaltimia. Sijaitessaan viilennettävässä tilassa höyrystimet tarvitsevat sulatuksen, sillä ne keräävät jäätä kostean ilman kiertäessä lamellien läpi. Kylmätilojen lämpötilan ollessa yli 2 °C käytetään ilmasulatusta, joka toteutetaan tilassa olevalla lämpöisellä ilmalla. Kylmemmissä tai kosteammissa tiloissa tulee käyttää sähkösulatusta.

Välillisessä höyrystyksessä käytetään levylämmönsiirtimiä tai moniputkihöyrystimiä samalla periaatteella kuin lauhduttamisessa. Tällöin prosessi on kuitenkin käänteinen ja kylmäaine sitoo lämpöä sen luovuttamisen sijaan. Konkreettisesti höyrystin ei sijaitse jäähdytettävässä tilassa, vaan kylmätilassa on puhallinkonvektori, jossa kulkee jäähdytysnestettä, jota kylmäaine jäähdyttää.

### 2.2.5 Putkistot

Kylmäkoneistoiden putkistoissa käytettävä putki tulee olla jäähdytyslaadun. Näin voidaan olla varmoja, ettei putkistoon tai järjestelmään pääse epäpuhtauksia. Jäähdytyslaadun putket ovat aina suojattuja joko tulppauksella tai putkipäiden litistyksellä ja suojaus poistetaan vasta asennushetkellä. Vesijohtolaadun putkia ei saa käyttää kylmäkoneistoissa niiden epäpuhtauksien johdosta.

Kylmäkoneistossa kiertää aina öljyä sumuna ja pieninä pisaroina öljynerottimen erottelukyvystä huolimatta. Öljyä koneistossa tarvitaan mekaanisesti toisiaan vastaan liikkuvien pintojen voiteluun. Putkistoa suunniteltaessa tämä öljyn kierto on otettava huomioon, jotta se palautuisi kompressorille kylmäaineen mukana.

Tärkeimmät huomioon otettavat asia putkimitoituksessa ovat:

- riittävä kylmäaineen virtausnopeus öljyn kuljettamiseen
- kohtuulliset painehäviöt
- putkiston kohtuullinen hinta

Kylmäkoneiston putkistot koostuvat **lauhde-**, **neste-**, **imu-** ja **paineputkista**.

Lauhdeputkessa kylmäaine kulkeutuu nestemäisessä olomuodossa lauhduttimelta nestevaraajalle. Nestevaraajalta kylmäaine siirtyy paisuntaventtiilille nesteputkea pitkin pitäen nestemäisen olomuotonsa. Nestemäisessä olomuodossa kylmäaine sitoo öljyn osittain itseensä, joten näissä putkissa öljyn kulkeutuminen ei useinkaan ole ongelma. Huoltotöiden helpottamiseksi tulisi lauhdeputkisto asentaa siten, ettei putkinousuja olisi lainkaan. Näin tehtäessä pystyttäisiin valuttamaan nestemäinen kylmäaine lauhduttimesta varaajaan, kun kompressorilla on se ennemmin pumpattu painepuolelle. Nesteputken mitoitus tulee tehdä tarkasti, sillä kylmäaineen tulee olla

nestemäisessä muodossa sen saapuessa paisuntaventtiilille. Kylmäaineen jäähdytysominaisuus perustuu nestemäisen aineen muuttumiseen höyryksi ja tämä ei toteudu, jos neste saapuu paisuntaventtiilille höyryn muodossa huonon nesteputken mitoituksen takia. Pahin seuraus olisi jäähdytystehon ja kylmäkerroinarvon laskeminen vaaditun tason alle.

Imuputkessa kylmäaine kulkeutuu höyrystimeltä kompressorille ja paineputkessa kompressorilta lauhduttimelle höyryn muodossa. Näissä putkiosuuksissa suurin huomio kiinnittyy öljyn kulkeutumiseen ja siihen, että se päätyy takaisin kompressorille. Öljy ei sitoudu höyryyn, joten sen liikkuminen varmistetaan suurella virtausnopeudella (5–25 m/s) ja rakentamalla vaakaputkistot hieman laskeviksi (2–5 mm/m). Putkinousujen kohdalla putkistot tulee varustaa myös öljymutkalla liikkeen varmistamiseksi. Öljymutkassa öljy kerääntyy putken pohjalle, joka saa aikaiseksi putken sisähalkaisijan kapenemisen. Tästä seuraa höyryn virtausnopeuden kasvu, jolla öljy temmataan mutkan pohjalta höyryn mukaan.

## **2.3 Kylmäaineet**

Kylmäaineet ovat nesteytettyjä kaasuja, joiden avulla siirretään lämpöenergiaa kylmäkoneistossa. Aine muuttuu nesteestä kaasuksi ottaessaan lämpöenergiaa ympäristöstään ja taas kaasusta nesteeksi luovutettuaan sen pois. Tämä olomuodon muutos mahdollistaa suurienkin lämpöenergiakuormien siirtämisen paikasta toiseen pienillä kylmäaineen massavirroilla. Suurimmat vaikuttajat aineen ominaisuuksiin ovat siihen kohdistuva lämpötila ja paine. (Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2011, 30.)

### **2.3.1 Kylmäaineiden kehitys**

1800-luvulla Jakob Perkinsin rakensi ensimmäisen toimivan kylmäkoneiston, jossa käytettiin kylmäaineena eetteriä. Tätä kylmäainetta ei voitu kuitenkaan käyttää kauan, sillä se oli ihmisen terveydelle vaarallista. Monia eri hiilivetyjä kokeiltiin eetterin jälkeen, mutta tärkeimmiksi kylmäaineiksi vakiintuivat ammoniakki, hiilidioksidi ja rikkidioksidi. Hiilidioksidin käytöstä luovuttiin 1950-luvulla sen suuren

höyrypaineen ja huonon hyötysuhteen takia. Nykyään hiilidioksidi on nousemassa uudelleen käyttöön parannetun prosessin ja uuden tekniikan avulla. Ammoniakki jäi käyttöön sen ensimmäisten kokeilujen jälkeen etenkin suurissa laitoksissa. Nykyään myös ammoniakin käyttö on lisääntymässä.

Halogeenihiilivedyt R12 ja R22 osoittautuivat keksittäessään 1930-luvulla ominaisuuksiltaan ihanteellisiksi kylmäaineiksi ja niiden käyttö kasvoi nopeasti. Kyseisten aineiden käyttöä ruvettiin vähentämään ja poistamaan 1990-luvulla niiden ympäristöhaitallisuuden ja nykyisin myös kasvihuoneilmiöön vaikuttamisen takia.

Nykyisin kylmäaineille on annettu ympäristövaikutustunnusluvut, joiden avulla pystytään vertailemaan niiden otsonikerrokselle ja kasvihuoneilmiölle aiheuttamaa vaikutusta. Näiden lukujen perusteella halogeenihiilivetyjä on poistettu käytöstä ja vuonna 2020 voimaan tulevan määräyksen jälkeen suurin osa vielä käytössä olevista poistetaan. (Aalto, Alijoki, Hakala, Hirvelä, Kaappola, Mentula & Seinälä 2008, 106.)

### 2.3.2 Kylmäaineiden turvallisuusluokittelu

Kylmäaineista voi muodostua myrkyllisiä hajoamistuotteita niiden ollessa kosketuksessa liekkien tai kuumien pintojen kanssa. Tästä syystä kylmäaineet jaetaan kahteen ryhmään myrkyllisyytensä ja neljään ryhmään syttyvyytensä perusteella. Jaottelu on esitetty taulukossa 1. (Kapanen 2017.)

Myrkyllisyysluokat:

- Ryhmä A Työperäinen alistuksen raja-arvo  $\geq 400$  ppm.
- Ryhmä B Työperäinen alistuksen raja-arvo  $< 400$  ppm.

Syttyvyysluokat:

- Luokka 1
  - liekki ei etene ilmakehän paineessa (101,3 kPa) ja lämpötilan ollessa 60 °C.
- Luokka 2L (syttyvyys alhaisempi)

- liekki etenee ilmakehän paineessa (101,3 kPa) ja lämpötilan ollessa 60 °C.
- alempi syttymisraja (LFL) on > 3,5 tilavuus-%
- palamislämpö < 19 MJ/kg
- maksimipalonoisuus ≤ 10 cm/s ilmakehän paineessa (101,3 kPa) ja lämpötilan ollessa 23 °C
- Luokka 2 (syttävä)
  - liekki etenee ilmakehän paineessa (101,3 kPa) ja lämpötilan ollessa 60 °C.
  - alempi syttymisraja (LFL) on > 3,5 tilavuus-%
  - palamislämpö < 19 MJ/kg
  - maksimipalonoisuus > 10 cm/s ilmakehän paineessa (101,3 kPa) ja lämpötilan ollessa 23 °C
- Luokka 3 (korkeampi syttyvyys)
  - liekki etenee ilmakehän paineessa (101,3 kPa) ja lämpötilan ollessa 60 °C.
  - alempi syttymisraja (LFL) on ≤ 3,5 tilavuus-%
  - palamislämpö ≥ 19 MJ/kg

Taulukko 1. Kylmäaineiden turvaluokitustaulukko (Kapanen 2017).

Turvaryhmä	Pienempi myrkyllisyys (terveydelle haitaton)	Suurempi myrkyllisyys (terveydelle haitallinen)
Korkeampi syttyvyys	A3	B3
Alhaisempi syttyvyys	A2L	B2L
Syttävä	A2	B2
Ei syttyviä	A1	B1

### 2.3.3 Kylmäaineiden ympäristövaikutusluvut

Ympäristövaikutusluvuilla kuvataan kylmäaineen vaikutusta otsonikerrokseen tai kasvihuoneilmiöön. Mitä suurempia luvut ovat, sitä isompi haitta niillä on ilmakehälle ja ympäristölle.

**GWP-luku** kertoo kylmäaineen kasvihuonehaitallisuudesta. Haitallisuus määritetään vertaamalla yhden kilogramman kaasumäärän lämmitysvaikutusta verrattuna hiilidioksidin lämmitysvaikutukseen. Luvulla määritetään sadan vuoden ajanjaksolle jakautuva vaikutus. F-kaasujen GWP-lukuarvot ovat välillä 0-22800.

**ODP-luku** kertoo kylmäaineen suhteellisesta otsonihaitallisuudesta. Kylmäaineelle R11 on määritetty ODP-arvo 1,0. Tätä arvoa käytetään vertailuarvona muihin kylmäaineisiin. ODP-lukuasteikko on välillä 0-1,0

(Linde Group, Suomen Kylmäliikkeiden liitto ry 2014.)

#### **2.3.4 Luonnonmukaiset kylmäaineet**

Luonnonmukaiset kylmäaineet esiintyvät luonnossa biokemiallisen prosessin yhteydessä. Näiden aineiden vaikutus otsonikerrokseen ja kasvihuoneilmiöön on hyvin vähäinen tai sitä ei ole lainkaan. Aineiden hyötysuhde on korkea, jolloin ne vähentävät myös maapallon epäsuoraa lämpenemistä. (Linde Group, [Viitattu 18.1.2018].)

Aineiden ominaisuuksia on esitetty taulukossa 2.



Taulukko 2. Epäorgaanisten ja HC-kylmäaineiden ominaisuustaulukko (Kapanen 2017).

Ominaisuus	R290	R600a
koostumus	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>
	propani	isobutaani
moolimassa [g/mol]	44,1	58,1
kiehumispiste [°C]	-42,1	-11,6
kriittinen lämpötila [°C]	96,7	135,9
kriittinen paine [bar]	42,4	36,8
ODP	0	0
GWP	3	3
turvaluokka	A3	A3
liukuma	ei liukumaa	ei liukumaa
yhteensopivat öljyt	MO, AB, MO+AB, PAO, POE, PAG	MO, AB, MO+AB, PAO, POE, PAG
edut	<ul style="list-style-type: none"> <li>- alhainen puristusaine</li> <li>- pieni painesuhde</li> <li>- laaja käyttöalue</li> <li>- hyvä kylmäkerroin koko käyttöalueella</li> <li>- sopii käytettäväksi myös märkähöyrysteisiin järjestelmiin</li> <li>- ympäristöystävällinen</li> <li>- hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- alhainen puristusaine</li> <li>- pieni painesuhde</li> <li>- ympäristöystävällinen</li> <li>- hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet</li> </ul>
haitat	<ul style="list-style-type: none"> <li>- palava</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- palava</li> <li>- alipaineinen, kun th&lt;-10 °C</li> <li>- vaatimaton tilavuustuotto</li> </ul>
käyttökohteita	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vedenjäähdytyskoneistot</li> <li>- pienet kylmä- ja pakastekoneistot</li> <li>- lämpöpumput</li> <li>- ilmastoinnin jäähdytys</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kodin kylmälaitteet</li> </ul>

Ominaisuus	R717	R744
koostumus	NH <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>
	ammoniakki	hiilidioksidi
moolimassa [g/mol]	17,0	44,0
kiehumispiste [°C]	-33,3	-78,4
kriittinen lämpötila [°C]	132,4	31,1
kriittinen paine [bar]	113,5	73,8
ODP	0	0
GWP	0	1
turvaluokka	B2	A1
liukuma	ei liukumaa	ei liukumaa
yhteensopivat öljyt	MO, AB, MO+AB, PAO, PAG	MO, AB, MO+AB, PAO, PAG
edut	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hyvä tilavuustuotto</li> <li>- alhainen puristusaine</li> <li>- sopii käytettäväksi myös märkähöyrysteisiin järjestelmiin</li> <li>- hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet</li> <li>- hyvä kylmäkerroin</li> <li>- ympäristöystävällinen</li> <li>- vuodot helppo havaita</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- loistava tilavuustuotto</li> <li>- pieni painesuhde</li> <li>- sopii käytettäväksi myös märkähöyrysteisiin järjestelmiin</li> <li>- hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet</li> <li>- ympäristöystävällinen</li> </ul>
haitat	<ul style="list-style-type: none"> <li>- erittäin myrkyllinen</li> <li>- palava</li> <li>- suuri tulistuminen puristuksessa</li> <li>- suhteellisen kallis laitos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- korkea paine</li> <li>- alhainen kriittinen piste</li> <li>- syrjäyttää hapen vuotoilanteissa</li> <li>- suurissa pitoisuuksissa aiheuttaa tajuttomuutta tai jopa kuoleman (10 % ilmassa)</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- ilman happipitoisuusmittari ei sovellu CO<sub>2</sub>-pitoisuuden valvontaan!</li> </ul>
käyttökohteita	<ul style="list-style-type: none"> <li>- suuret vedenjäähdytyskoneistot</li> <li>- suuret kylmä- ja pakastekoneistot</li> <li>- jäärakoneistot</li> <li>- suuret lämpöpumput</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pakastekoneistot</li> <li>- pienet kylmäkaapit</li> <li>- ajoneuvojen kylmälaitteet</li> <li>- jääratojen liuos</li> <li>- lämpöpumput</li> </ul>

### 2.3.5 HFC-kylmäaineet

HFC-kylmäaineilla ei ole otsonihaitallisuutta, mutta kasvihuonehaitallisuus on keskitasoinen tai korkea, joten kyseiset kylmäaineet ovat vain osittain ympäristöystävällisiä. (Taulukko 3)

Taulukko 3. HFC-kylmäaineiden ominaisuustaulukko (Kapanen 2017).

Ominaisuus	R134a	R404A
koostumus	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F 1,1,1,2-tetrafluorietaani	R125/R143a/R134a 44/52/4%
moolimassa [g/mol]	102,0	97,6
kiehumispiste [°C]	-26,1	-46,6
kriittinen lämpötila [°C]	101,0	72,1
kriittinen paine [bar]	40,7	37,3
ODP	0	0
GWP	1430	3922
turvaluokka	A1	A1
liukuma	ei liukumaa	0,8...0,2 °C
yhteensopivat öljyt	AB, POE, PVE, PAG	AB, POE, PVE, PAG
edut	- alhainen puristuspaine - hyvä kylmäkerroin (th>-5 °C) - sopii käytettäväksi myös märkähöyrysteisiin järjestelmiin	- alhainen tulistuminen puristuksessa - laaja käyttöalue
haitat	- pieni tilavuustuotto - alipaine, kun th<-25 °C	- korkea GWP-luku - korkeahko puristuspaine - lämpötilaliukuma
käyttökohteita	- kodin kylmälaitteet - jääpalakoneistot, olutjäähdyttimet - ilmastoinnin jäähdytyksen ruuvi- ja turbovedenjäähdytyskoneet - ajoneuvojen kylmälaitteet - lämpöpumput	- myymälöiden kylmälaitokset - kylmä- ja pakastekoneistot - jääratkoneistot

Ominaisuus	R407C	R410A
koostumus	R32/R125/R134a 23/25/52%	R32/R125 50/50%
moolimassa [g/mol]	86,2	72,6
kiehumispiste [°C]	-43,8	-51,6
kriittinen lämpötila [°C]	86,7	74,7
kriittinen paine [bar]	46,2	51,7
ODP	0	0
GWP	1774	2088
turvaluokka	A1	A1
liukuma	7,5...3,5 °C	0,1 °C
yhteensopivat öljyt	AB, POE, PVE, PAG	AB, POE, PVE, PAG
edut	- alhainen puristuspaine - hyvä kylmäkerroin	- hyvä tilavuustuotto - laaja käyttöalue
haitat	- suuri lämpötilaliukuma	- korkea puristuspaine - suuri tulistuminen puristuksessa
käyttökohteita	- comfort-ilmastoinnin jäähdytyslaitteet (siirrettävät, ikkunakojeet, splitit) - vedenjäähdytyskoneistot - kaappi- ja vakioilmastointikoneet - kompressorilauhduttimet - lämpöpumput	- comfort-ilmastoinnin jäähdytyslaitteet (siirrettävät, ikkunakojeet, splitit) - vedenjäähdytyskoneistot - kaappi- ja vakioilmastointikoneet

### **3 KYLMÄTEHONTARPEEN LASKENTA KYLMÄ- JA PAKASTEVARASTOILLE**

#### **3.1 Kylmäsäilytys ja pakkasäilytys**

Lämpötila-alueet kylmäsäilytyksessä ovat normaalisti +0...10 °C ja pakkasäilytyksessä aina alle -18 °C. Kylmäsäilytykseen kuuluvat yleensä tuoretuotteet, jotka eivät saa jäätyä ja pakastesäilytykseen tuotteet, jotka pysyvät, tuotteesta riippuen, jäädytettynä parista vuorokaudesta vuoteen. (Hakala & Kaappola 2011, 34.)

#### **3.2 Laskennan perusteet**

Vuorokautinen kylmätehtävyys kylmä- ja pakastevarastoille tulee laskea päivittäisen keskitehon mukaan, sillä kuormitus läpi vuorokauden ei lähes koskaan ole tasaista. Laskennassa otetaan huomioon kohteesta poistettava kokonaislämpömäärä vuorokaudessa, vuorokautinen käyntiaika ja varmuuskerroin. Päivittäiseen käyntiaikaan vaikuttaa kohteen jäähdytyksen kuormituksen tasaisuus ja höyrystimien sulatustapa. (Hakala & Kaappola 2011, 34.)

Kohteen kylmä- ja pakastehuoneet sekä jäävesipankki ja pikajäähdytyshuoneet on merkitty huonekoodeilla. Taulukossa 4. esitetään huoneiden koodit, tilojen nimet, tuotteiden varastointimäärät, tuotteiden tulolämpötilat, varastointilämpötilat, pinta-alat ja tilavuudet.

Taulukko 4. Ravintokeskuksen kylmä- ja pakkahuoneiden sekä pikajäähdytysuoneen ja jäävesipankin lähtötietoja (Lähtötietoja sairaalalta, Hakala & Kaappola 2011, 43 - 44).

Tilnumero	Tilan nimi	Tuotemäärä (kg)	Tulolämpötila (°C)	Huonelämpötila (°C)	Pinta-ala (m <sup>2</sup> )	Tilavuus (m <sup>3</sup> )
00.184	VIHANNESKYLMIO	1000	6	4	21,5	52,6
00.185	LIHAKYLMIO	1000	4	0	21,5	52,6
00.188	VASTAANOTTOKYLMIO	4000	4	4	14,5	38,7
00.190	JUURESKYLMIO	1000	4	0	22	54,1
00.191	SATSITUSKYLMIO	1000	4	4	21,5	52,8
00.193	PERUNAKYLMIO	1000	4	4	10,5	25,9
00.196	LÄHTEVÄ KYLMÄ	2000	4	4	41	98,6
00.201	MAITOKYLMIO	3000	6	4	40	96,2
00.215	KYLMÄHUONE DIEETTI	300-400	6	4	9,5	24,1
00.219	VALMISRUOKA/KOKITKYLMIO	700	4	4	20	49,4
00.225	ATERIAPAKKAUS		4	4	17,5	43,1
00.226	OSASTOJEN TUOTEVÄLITYS		+22 - +6	4	29,5	72,0
00.192	PAKASTEHUONE	700	-18	-20	9,5	25,1
00.197	PAKASTEHUONE	2000	-18	-20	14	35,5
00.198	PAKASTEHUONE	2000	-18	-20	26,5	65,8
00.214	PAKASTEHUONE DIEETTI	300-400	-18	-20	9,5	24,5
Tilnumero	Tilan nimi	Tuotemäärä (kg)	Tulolämpötila (°C)	Huonelämpötila (°C)	Pinta-ala (m <sup>2</sup> )	Tilavuus (m <sup>3</sup> )
00.218	PIKAJÄÄHDYTYSHUONE	200	70	3	4,5	13,0
Tilnumero	Laitteen nimi	Kylmäteho (kW)	Sähköliitäntä (kW)			
00.208	JÄÄVESIPANKKI	32,6	26,3			

### 3.2.1 Rakenteiden kautta tapahtuva lämpövuoto

Rakenteiden kautta tapahtuva lämpövuoto  $Q_{\text{rakenne}}$  (kWh/vrk), voidaan laskea kaavalla 1.

$$Q_{\text{rakenne}} = U * A * (T_U - T_S) * 24\text{h/vrk}/1000 \quad (1)$$

missä

$U$  on rakenteen u-arvo [W/m<sup>2</sup> °C]

$A$  on rakenteen pinta-ala [m<sup>2</sup>]

$T_U$  on ulkolämpötila [°C]

$T_S$  on sisälämpötila [°C]

### 3.2.2 Oven kautta tapahtuva ilmanvaihto sekä muu ilmanvaihto

Ovi- ja liuskaverholla voidaan pienentää ovien kautta tapahtuvaa ilmanvaihdon kuormitusta 50–70%. (Hakala & Kaappola 2011, 35). Oven kautta tapahtuva ilmanvaihdosta syntyvä kuormitus  $Q_{ovi}$  (kWh/vrk), lasketaan kaavalla 2.

$$Q_{ovi} = k_i * n_i * V * \rho_s * (h_u - h_s) \quad (2)$$

missä

$k_i$  on korjauskerroin [1-3]

$n_i$  on ilmanvaihtokertojen lukumäärä [krt/vrk]

$V$  on varaston sisätilavuus [ $m^3$ ]

$\rho_s$  on varaston sisäilman tiheys [ $kg/m^3$ ]

$h_s$  on varaston sisäilman entalpia [ $kJ/kg$ ]

$h_u$  on ilman entalpia varaston ulkopuolella [ $kJ/kg$ ]

Bäckströmin kaavan 3 avulla voidaan määrittää  $n_i$  ilmanvaihtokertojen lukumäärä.

$$n_i = 70 / \sqrt{V} \quad (3)$$

missä

$V$  on varaston sisätilavuus [ $m^3$ ]

### 3.2.3 Tuotteiden hengityslämpö sekä tuotevaihto

Kylmävarastoissa, joissa tuotteet jatkavat kypsymisaineenvaihduntaa tulee laskea hengityslämmön kuormitus  $Q_{hengityslämpö}$  (kWh/vrk) kaavalla 4. Tällaisia tuotteita ovat vihannekset, hedelmät ja marjat.

$$Q_{hengityslämpö} = m_k * h_t / 3600 \quad (4)$$

missä

$m_k$  on varastoitava kokonaistuotemäärä [kWh/vrk]

$h_t$  on tuotteen hengityslämpö [kJ/kg/vrk]

Kylmä- sekä pakastevarastoissa, joissa säilytetään liha-, pakaste- tai pakattuja tuotteita ei tarvitse hengityslämmön kuormitusta ottaa huomioon, sillä kyseiset tuotteet eivät luovuta hengityslämpöä. Tuotteiden hengityslämmöt tulee tarkistaa tuotekohtaisesti suuntaa-antavista taulukoista.

Tuotevaihdon lämpökuormaa laskettaessa tulee tietää tuotevaihdon määrä vuorokaudessa. Tämän tiedon puuttuessa voidaan käyttää taulukon 5 oletusarvoja.

Taulukko 5. Eri varastotyyppien tuotevaihdon oletusarvoja (Hakala & Kaappola 2011, 36).

Varastotyyppi	Tuotevaihdon oletusarvo (kg/m <sup>2</sup> )
Talouskellari	6
Kylmävarasto	50
Tukkuvarasto	100-150

Varastoitavien tuotteiden tietojen uupuessa voidaan tuotteen ominaislämpönä käyttää taulukon 6 oletusarvoja.

Taulukko 6. Tuotteiden oletusarvoja ominaislämpötilalle eri tuotelämpötiloissa (Hakala & Kaappola 2011, 36).

Tuotteen lämpötila	Ominaislämpö (kJ/kg°C)
Ennen jäätymistä	3,5
Jäätymisen jälkeen	1,7

Tuotevaihdesta aiheutuva kuormitus  $Q_{\text{tuotevaihto}}$  (kWh/vrk), lasketaan kaavalla 5

$$Q_{\text{tuotevaihto}} = m_v * c_p * (T_t - T_s) / 3600 \quad (5)$$

missä

$m_v$  on tuotevaihto [kg/vrk]

$c_p$  on tuotteen ominaislämpö [kJ/kg °C]

$T_t$  on tuotteen tulolämpö [°C]

$T_s$  on tuotteen varastointilämpö [°C]

### 3.2.4 Valaistuksen ja henkilöiden lämmönluvutus

Valaistuksen lämmönluvutus riippuu valaisintyypistä ja valaistustehosta.

Valaistustehon yksikkö on (W/m<sup>2</sup>), joka pystytään määrittämään eri lampputyypeille muuttamalla niiden luksimäärät (lux) seuraavien kertoimien avulla. Nämä kertoimet on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Eri valaisintyyppien muuntokertoimia (Hakala & Kaappola 2011, 37).

Valaisintyyppi	Kerroin
Hehkulamppu	0,5
Loisteputki	0,05

Valaistuksen lämpökuorma  $Q_{\text{valaistus}}$  (kWh/vrk) voidaan määrittää kaavalla 6.

$$Q_{\text{valaistus}} = A * P_v * t_v / 1000 \quad (6)$$

missä

$A$  on varaston pohjanpinta-ala [m<sup>2</sup>]

$P_v$  on valaistusteho [W/m<sup>2</sup>]

$t_v$  on valaistuksen käyttöaika [h/vrk]

Henkilöiden aiheuttama lämpökuormitus  $Q_{\text{henkilö}}$  (kWh/vrk) voidaan laskea kaavalla 7.

$$Q_{\text{henkilö}} = n_h * P_h * t_t \quad (7)$$

missä

$n_h$  on henkilömäärä [kpl]

$P_h$  on lämmönluovutus [kW]

$t_t$  on työskentelyaika [h/vrk]

Henkilöiden lämpökuormitus voidaan myös määrittää taulukon 8 oletusarvoilla.

Taulukko 8. Keskimääräiset lämmönluovutusarvot henkilöä kohden eri huonelämpötiloissa (Hakala & Kaappola 2011, 37).

Huonelämpötila (°C)	Lämmönluovutus henkilöä kohden (kW/hlö)
+10	0,2
+0	0,3
-20	0,4

### 3.2.5 Laitteiden, puhaltimien ja sähkösulatuksen aiheuttamat lämpökuormat

Laitekuormituksessa otetaan huomioon tilassa käytettävät työskentelylaitteet, kuten pakkauskoneet ja trukit. Laitteiden lämmönluovutus voidaan arvioida niiden laitetietokilpien sähköön nimellistehon (kW) mukaan. Tällöin kuitenkin tulee arvioida käyttöaika mahdollisimman tarkasti.

Laitekuormitus  $Q_{laite}$  (kWh/vrk), lasketaan kaavalla 8.

$$Q_{laite} = n_1 * P_1 * t_1 \quad (8)$$

missä

$n_1$  on laitteiden lukumäärä [kpl]

$P_1$  on lämmönluovutus [kW]



$t_1$  on käyttöaika [h/vrk]

Puhaltimien lämpökuormaa laskettaessa puhutaan höyrystimien puhaltimista. Puhaltimen verkosta ottama sähköteho muuttuu kokonaan lämmöksi, joten lämpökuorma  $Q_{\text{puhallin}}$  (kWh/vrk) voidaan laskea kaavalla 9.

$$Q_{\text{puhallin}} = n_p * P_p * t_p \quad (9)$$

missä

$n_p$  on puhaltimien lukumäärä [kpl]

$P_p$  on puhaltimien verkosta ottama sähköteho [kW]

$t_p$  on käyntiaika [h/vrk]

Höyrystimet tarvitsevat sähkösulatusta, sillä niiden pintaan muodostuu jäätä. Yleensä sulatusajat ovat 2–4 kertaa päivässä 15–30 min kerralla. Sulatusvastusten ottama teho on 30 % niiden tarvitsemasta sähköenergiasta.

Sähkösulatuksen lämpökuorma  $Q_{\text{sähkösulatus}}$  (kWh/vrk), voidaan laskea kaavalla 10.

$$Q_{\text{sähkösulatus}} = 0,3 * P_s * t_s \quad (10)$$

missä

$P_s$  on sulatusvastuksien teho [kW]

$t_s$  on sulatusaika [h/vrk]

### 3.3 Kylmäkoneiston tehontarve

Jäähdytettävän tilan kokonaiskylmän tarve  $Q_{\text{kok}}$  (kWh/vrk), saadaan laskemalla edellä mainitut lämpökuormat yhteen.

$$Q_{\text{kok}} = Q_{\text{rakenne}} + Q_{\text{ovi}} + Q_{\text{hengityslämpö}} + Q_{\text{tuotevaihto}} + Q_{\text{valaistus}} + Q_{\text{henkilö}} + Q_{\text{laite}} + Q_{\text{puhallin}} + Q_{\text{sähkösulatus}}$$

Kokonaiskylmäntarpeessa tulee vielä ottaa huomioon epävarmuustekijöitä, kuten liian suuri tulevien tuotteiden lämpötila. Tämä epävarmuustekijä otetaan huomioon varmuuskertoimella, joka on arvojen 1,1 ja 1,3 välillä. Lisäksi vuorokautinen käyntiaika (h/vrk) kylmäkoneistolle tulee arvioida taulukoiden mukaan.

Edellä mainittujen tulosten avulla päästään kylmälaitoksen kylmäkoneiston tehontarpeeseen  $\Phi$  (kW) kaavalla 11.

$$\Phi = Q_{kok} * k_k / t_k \quad (11)$$

missä

$Q_{kok}$  on varaston kokonaiskylmätehon tarve [kWh/vrk]

$k_k$  on varmuuskerroin [1,1–1,3]

$t_k$  on koneiston käyntiaika [h/vrk]

Taulukossa 9 esitetään laskentapohja, jota hyödynnettiin jokaisen kylmä- ja pakkashuoneen kylmätehon määrittämiseen. Laskentapohja perustuu edellä mainittuihin laskentakaavoihin. Jokaisen kylmä- ja pakastehuoneen sekä pikajäähdytyskoneiden ja jäävesipankin laskentapohjat löytyvät liitteestä 1.



Taulukko 10. Aputaulukko taulukon 9 arvojen muuttamiseen taulukolle 11.

		Energian sijoittuminen päivän tunneille (h)	(kWh)
Rakenteiden kautta tapahtuvalämpövuoto yhteensä.	7,24 (kWh/d)	24	0,30
Ilmanvaihto, ovi:	15,84 (kWh/d)	12	1,32
Ilmanvaihto, koneellinen:	0,00 (kWh/d)	1	0,00
Tuotevaihto:	2,27 (kWh/d)	12	0,19
Pakkausten luovuttama lämpö:	0,03 (kWh/d)	24	0,00
Tuotteiden hengityslämpö:	2,50 (kWh/d)	24	0,10
Henkilöiden luovuttama lämpö:	0,00 (kWh/d)	12	0,00
Valaistus:	0,34 (kWh/d)	12	0,03
Kojekuormitus:			
Koje1:	0,00 (kWh/d)	1	0,00
Koje2:	0,00 (kWh/d)	1	0,00
Jakeluovet:	0,00 (kWh/d)	24	0,00
Heiluriovet:	0,00 (kWh/d)	24	0,00
Puhaltimet:	0,61 (kWh/d)	24	0,03
Sähkösulatus:	0,00 (kWh/d)	24	0,00

Taulukkoon 11 on kerätty jokaiselle päivän tunnille sijoittuva tietyn lämmönlähteen aiheuttama jäähdytysenergiantarve taulukosta 10. Jäähdytysenergiantarpeet ovat joko päivän jokaiselle tunnille tai tietyille tunneille jakautuvia. Taulukossa 10 on esitetty, kuinka monelle tunnille lämpökuorma jakautuu ja taulukkoon 11 määritettiin ajankohta, jolloin lämpökuormaa tulee huoneeseen. Taulukossa 11 käytetään keittiökeskuksen yhtä työpäivää, jossa jokaisen kylmä- ja pakkahuoneen kohdalla on mietitty huoneen käyttöä ja toimintoja tänä aikana. Käyttö ja toiminnot ovat teoreettisia kohteen ollessa suunnitteilla tätä opinnäytetyötä tehtäessä.

Taulukko 11. Kylmähuoneen 00.184 lämpökuorman jakautuminen päivän eri kellonajoille.

LÄMPÖENERGIAN PÄIVITTÄINEN JAKAUMA			
Klo	Tasaisesti jakautuvat kWh	Erytystilanteet kWh	yht
1-2	0,433		0,43
2-3	0,433		0,43
3-4	0,433		0,43
4-5	0,433		0,43
5-6	0,433		0,43
6-7	0,433	1,538	1,97
7-8	0,433	1,538	1,97
8-9	0,433	1,538	1,97
9-10	0,433	1,538	1,97
10-11	0,433	1,538	1,97
11-12	0,433	1,538	1,97
12-13	0,433	1,538	1,97
13-14	0,433	1,538	1,97
14-15	0,433	1,538	1,97
15-16	0,433	1,538	1,97
16-17	0,433	1,538	1,97
17-18	0,433	1,538	1,97
18-19	0,433		0,43
19-20	0,433		0,43
20-21	0,433		0,43
21-22	0,433		0,43
22-23	0,433		0,43
23-24	0,433		0,43
24-1	0,433		0,43

Taulukkoon 12 on kerätty lämpökuormien määrät jokaiselta kylmäkoneelta päivän eri kellonaikoina. Jokaisesta kylmäkoneesta on laskettu taulukoiden 9, 10 ja 11 tapaan lämpökuormien määrät ja arvot on viety taulukkoon 12.

Taulukoiden lämpökuormien jakautuminen päivän tunneille on teoreettinen kohteen ollessa suunnitteilla tätä opinnäytetyötä tehtäessä.

Taulukko 12. Yhteenveto jokaisen kylmä- ja pakkashuoneen lämpökuormista päivän eri kellonaikoina

Kylmäkoneen tunnus	431	432	433	434	435	421	436	437	422	423	438	424	439	425	426	440	441	442	443	
Huonetunnus/positio rakennuksessa	184	185	188	190	191	192	193	196	197	198	201	214	215	218	218	219	225	226	Positio 50	yht
Klo	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
1-2	0,43	0,39	0,26	0,40	0,25	0,63	0,19	0,67	0,81	1,05	0,67	0,63	0,27			0,34	0,32	0,50		7,80
2-3	0,43	0,39	0,26	0,40	0,25	0,63	0,19	0,67	0,81	1,05	0,67	0,63	0,27			0,34	0,32	0,50		7,80
3-4	0,43	0,39	0,26	0,40	0,25	0,63	0,19	0,67	0,81	1,05	0,67	0,63	0,27			0,34	0,32	0,50		7,80
4-5	0,43	0,39	0,26	0,40	0,25	0,63	0,19	0,67	0,81	1,05	0,67	0,63	0,27			0,34	0,32	0,50		7,80
5-6	0,43	0,39	0,26	0,40	0,25	0,63	0,19	0,67	0,81	1,05	0,67	0,63	0,27			0,34	0,32	0,50		7,80
6-7	1,97	2,28	2,50	2,02	1,27	2,69	0,90	3,24	2,51	3,43	2,38	2,02	1,02	0,70	0,70	1,24	0,32	0,50	13,3	45,03
7-8	1,97	2,28	2,50	2,02	1,27	2,69	0,90	3,24	2,51	3,43	2,38	2,02	1,02	6,04	6,04	1,24	0,32	0,50	13,3	55,69
8-9	1,97	2,28	1,90	2,02	1,27	2,69	0,90	3,24	2,51	3,43	2,38	2,02	1,02	3,37	3,37	1,24	0,32	0,50	13,3	49,76
9-10	1,97	2,28	1,90	2,02	1,27	2,69	0,90	3,24	2,51	3,43	2,38	2,02	1,02	0,70	0,70	1,24	3,10	0,50	13,3	47,21
10-11	1,97	2,28	1,90	2,02	1,27	2,69	0,90	3,24	2,51	3,43	2,38	2,02	1,02	6,04	6,04	1,24	3,10	0,50	13,3	57,87
11-12	1,97	2,28	1,90	2,02	1,27	2,69	0,90	3,24	2,51	3,43	2,38	2,02	1,02	3,37	3,37	1,24	3,10	0,50	13,3	52,54
12-13	1,97	2,28	1,90	2,02	1,27	2,69	0,90	3,24	2,51	3,43	2,38	2,02	1,02	0,70	0,70	1,24	3,10	0,50	13,3	47,21
13-14	1,97	2,28	1,90	2,02	1,27	2,69	0,90	3,24	2,51	3,43	2,98	2,02	1,02	6,04	6,04	1,24	0,32	19,56	13,3	74,75
14-15	1,97	2,28	1,90	2,02	1,27	2,69	0,90	3,24	2,51	3,43	2,98	2,02	1,02	3,37	3,37	1,24	0,32	19,56	13,3	69,42
15-16	1,97	2,28	1,90	2,02	1,27	2,69	0,90	3,24	2,51	3,43	2,38	2,02	1,02	0,70	0,70	1,24	0,32	0,50	13,3	44,43
16-17	1,97	2,28	1,90	2,02	1,27	2,69	0,90	3,24	2,51	3,43	2,38	2,02	1,02	6,04	6,04	1,24	0,32	0,50	13,3	55,09
17-18	1,97	2,28	1,90	2,02	1,27	2,69	0,90	3,24	2,51	3,43	2,38	2,02	1,02	3,37	3,37	1,24	0,32	0,50	13,3	49,76
18-19	0,43	0,39	0,26	0,40	0,25	0,63	0,19	0,67	0,81	1,05	0,67	0,63	0,27			0,34	0,32	0,50		7,80
19-20	0,43	0,39	0,26	0,40	0,25	0,63	0,19	0,67	0,81	1,05	0,67	0,63	0,27			0,34	0,32	0,50		7,80
20-21	0,43	0,39	0,26	0,40	0,25	0,63	0,19	0,67	0,81	1,05	0,67	0,63	0,27			0,34	0,32	0,50		7,80
21-22	0,43	0,39	0,26	0,40	0,25	0,63	0,19	0,67	0,81	1,05	0,67	0,63	0,27			0,34	0,32	0,50		7,80
22-23	0,43	0,39	0,26	0,40	0,25	0,63	0,19	0,67	0,81	1,05	0,67	0,63	0,27			0,34	0,32	0,50		7,80
23-24	0,43	0,39	0,26	0,40	0,25	0,63	0,19	0,67	0,81	1,05	0,67	0,63	0,27			0,34	0,32	0,50		7,80
24-1	0,43	0,39	0,26	0,40	0,25	0,63	0,19	0,67	0,81	1,05	0,67	0,63	0,27			0,34	0,32	0,50		7,80
																				kWh/pv
																				742,33

## 4 KYLMÄLAITOKSEN LÄMMÖNTALTEENOTTO

Lauhdelämpöä voidaan ottaa talteen monella eri tavalla, mutta tässä työssä vertaillaan ja mainitaan työlle järkevimmät sekä toteuttamiskelpoiset vaihtoehdot. Vertailun pohjana käytetään järjestelmän hyödyntämiskapasiteettia sekä kylmäkoneiston toimintavarmuuden säilyttämistä.

Lauhdutuslämmön hyödyntämisen edellytyksinä ovat tarpeeksi suuri jäähdytysteho sekä samanaikainen ja mahdollisimman ympärivuotinen lämmitysenergiantarve. Perinteisillä kylmä- ja pakastevarastoilla suurin ongelma on se, että saadaan lauhdutustehoa talteen, mutta ei ole käyttökohteita.

Kylmälaitoksen lämmöntalteenotossa täytyy huomioida tärkeimpinä asioina käytettävän järjestelmän luotettava toiminta sekä se, että kylmälaitoksen toimintavarmuutta ei vaaranneta.

Kylmälaitoksen lauhtumislämpö muodostuu yhdestä lauhdutustehon kolmesta osatekijästä:

- tulistuspö, osuus n.10–20 %
- lauhdutuspö, osuus n. 80–90 %
- alijäähdytys, osuus n. 0–5 %

(Hakala & Kaappola 2011, 211–212.)

### 4.1 Välillisen lauhdutuksen lämmöntalteenotto

**IV-kojeiden lämmityspatterin lämmitys** suoraan kylmäkoneiden nestejäähdyttimen liuospiiristä on mahdollista toteuttaa parilla eri tavalla. Lauhdutusnestemäärä kierrätetään lämmityspatterin läpi kokonaisuudessaan, jolloin tulee varmistaa kohtuullinen painehäviö patterilla. Vaihtoehtoisesti lämmityspatterilla on oma pumppu, jolla otetaan nestejäähdyttimen liuospiiristä tarvittava määrä lämmitykseen, jolloin tarvitaan liuoksen minimilämpötilarajoitus IV-kojeen säätöpiiriin, ettei lauhtumispaine laske liikaa.

**Lämpimän käyttöveden esilämmittäminen** suoraan nestejäähdyttimen liuospiiristä toteutetaan samoilla periaatteilla kuin IV-kojeiden lämmityspattereiden lämmityksessä. Eroa lämmönsiirtokohteissa ovat lämmitettävä aine ja lämmönsiirtolaite. Käyttöveden esilämmityksessä käytetään levylämmönsiirrintyyppistä lämmönvaihdinta (kuvio 9), jossa lämpö siirtyy nesteiden välillä, kun taas IV-lämmityspattereissa lämpö siirtyy lauhdutusnesteestä IV-kojeen siirtämään ilmaan. (Hakala & Kaappola 2011, 220–221.)

**Lauhdelämmön siirtäminen lämpövaraajaan** nestejäähdyttimen liuospiiristä suoritetaan levylämmönvaihtimella. Lämmönsiirrin sijoitetaan nestelauhdutuspiirin erilliseen haaraan, jolloin sitä voidaan käyttää, kun lämpöä halutaan ottaa talteen. Lauhdutusneste kiertää nestejäähdyttimeen talteenoton ollessa mahdotonta. Nämä haarat erotetaan kolmitieventtiilillä, jolla siirretään virtaama tarvittavaan haaraan. LTO-piirissä nestettä kierrätetään pumpun avulla, jotta saavutetaan lämmönsiirrolle tarpeelliset olosuhteet, eli nesteen tarpeellinen virtausnopeus. Lämmönsiirto lämpövaraajalta lämmityskohteisiin toteutetaan samalla periaatteella kuin lämmönsiirto lauhdutusnestepiiristä lämpövaraajalle. Kyseisellä lämmöntalteenotolla pystytään varastoimaan lauhdutusnesteestä saatavaa lämpöä tarpeelliselle ajalle ja jakamaan se lämmityskohteille, kun lämmitystarvetta esiintyy.

#### 4.2 Suoran lauhdutuksen lämmöntalteenotto

**Sarjaan kytkettävä tulistuksen poistovaihdin** sijoitetaan kylmäainepiiriin kompressorin ja lauhduttimen väliin, jossa se nimensä mukaisesti ottaa tulistuksen ja hyödyntää sen välipiirillä määriteltyyn kohteeseen. Tulistuslämmön talteenotossa tulee muistaa, että sen määrä lauhdustehosta on 10–15 %, jolloin se tulee mitoittaa tarkoin tähän tehoon tai alemmas. Näin varmistetaan, ettei kylmäaine lauhdu vaihtimessa ja vahingoita ulkolauhdutinta.

Käyttöveden lämmitykseen kyseistä lämmöntalteenottoa ei voida hyödyntää, sillä lainsäädäntö kieltää suoran lauhdutuksen käyttöveden lämmitykseen. Tästä johtuen tulisi käyttää välipiiriä, joka tulee kasvattamaan investointikustannuksia, heikentämään hyötysuhdetta ja madaltamaan käyttövedeen saatavaa lämpötilatasoa.



**Sarjaan kytkettävissä lauhduttimissa** kylmäaine virtaa kahden tai useamman lauhduttimen läpi järjestyksessä ensimmäisestä viimeiseen. Lauhtuminen voi näin ollen tapahtua ensimmäisessä lauhduttimessa täysin, osittain tai ei ollenkaan, jonka jälkeen kylmäaine siirtyy seuraavalle lauhduttimelle, jossa sama toiminta toistuu riippuen ensimmäisen lauhduttimen toiminnasta. Kylmäaineen virratessa kaasuna ensimmäisen lauhduttimen ohi lauhtumattomana tulee varmistaa, että lauhduttimen painehäviö on tarpeeksi pieni, jottei kylmäainekierto häiriinny. Sarjaan kytkennässä haittana on suurempi kokonaispainehäviö lauhduttimista ja venttiileistä kuin rinnankytkennässä. Ensimmäisessä lauhduttimessa kylmäaineen nesteytyminen aiheuttaa nestepatsaan nousuputkessa seuraavalle lauhduttimelle, josta syntyy suuri painehäviö ja kylmäainekierto häiriintyy.

**Rinnankytkettävät lauhduttimet** toimivat samassa kylmäainepiirissä molempien lauhduttaessa kylmäainetta omissa ympäristöolosuhteissaan. Ulkolauhdutin toimii päätoimisena kylmäaineen lauhduttajana ulkotilassa ja LTO-lauhdutin lämmityskohteessaan silloin kun lämmöntarvetta esiintyy. LTO-lauhduuttimella ei pystytä kuitenkaan jatkuvasti lauhduttamaan kylmäainetta kokonaisuudessaan, sillä sen lämmityskohteessa ei yleisesti esiinny ympärivuotista lämmitystarvetta, joten lauhduttimien tulee toimia yhtäaikaaisesti. Tämä vaikeuttaa lauhduttimien toimintaa, sillä lauhduttimien paineet eroavat toisistaan ympäristöolosuhteista johtuen, mikä synnyttää vuorottaisen lauhtuneen kylmäaineen palautuksen lauhduttimilta nestevaraajalle. Vaarana on myös toisesta rinnakkaislauhduttimesta mahdollisesti lauhdeputkeen pääsevä kuumakaasu, joka ei ole kokonaisuudessa lauhduttimessa lauhtunut nesteeksi.

(Hakala & Kaappola 2011, 212–217.)

## 5 SEINÄJOEN KESKUSSAIRAALAN RAVINTOKESKUKSEN KYLMLAITOKSET

### 5.1 Järjestelmän kuvaus

Kylmä- ja pakkashuoneiden jäähdytys suunniteltiin toteutettavaksi yksittäisinä kylmäkoneistoina jokaiselle huoneelle, jotta saavutetaan parempi käyttövarmuus. Jäähdytys tapahtuu suorana höyrystyksenä huonetilojen höyrystimiin ja lauhdutus välillisenä levylämmönsiirtimillä vesiglykolipiiriin, joka jäähdytetään nestejäähdyttimellä vesikatolla. Jokaisen kylmä- ja pakkashuoneen kylmäkoneen lauhdutus toteutetaan samaan vesiglykolipiiriin. Nestelauhdutuspiiriin valittiin vesiglykoliseos, jonka glykolipitoisuus on 40 p-%, jolloin mahdollistetaan talvisin nestejäähdyttimen käyttö aina vesiglykolin jäätymispisteeseen -24 °C asti.

Kohteeseen suunniteltiin myös jäävesipankin sekä pikajäähdytyshuoneen kylmäkoneet, joiden höyrystys ja lauhdutus suunniteltiin toteutettavaksi samalla periaatteella kuin kylmä- ja pakkashuoneiden kylmäkoneistoissa.

### 5.2 Järjestelmien laajuus ja teho

Kylmä- ja pakkashuoneiden kokonaiskylmätehontarpeeksi määriteltiin 50,3 kW. Kompressoreiden sähkötehoiksi saatiin 31,1 kW. Kylmävesipankin ja pikajäähdytyshuoneen kokonaiskylmätehontarpeeksi saatiin 72,4 kW ja kompressorien sähkötehoiksi yhteensä 66,8 kW.

Lauhdeteho saadaan laskemalla yhteen kylmätehontarpeet sekä kompressorien sähkötehontarpeet.

Kylmä- ja pakkashuoneiden lauhdeteho:

$$50,3 \text{ kW} + 31,1 \text{ kW} = 81,4 \text{ kW}$$

Jäävesipankin ja pikajäähdytyshuoneen lauhdeteho:

$$72,4 \text{ kW} + 66,8 \text{ kW} = 139,2 \text{ kW}$$

## 6 KYLMÄLAITOKSEN LAUHDELÄMMÖN HYÖDYNTÄMINEN

### 6.1 Lauhdelämmöntalteenottojärjestelmän kuvaus

Lauhdelämmön talteenotto suunniteltiin toteutettavaksi lämmön siirtämisellä lauhdenestepiiristä levylämmönsiirtimien avulla lämpövaraajaan. Lauhdutuksen levylämmönsiirtimen ja vesiglykolipiirin nestejäähdyttimen välille tehdään haarajohte, joka johtaa lämmöntalteenoton levylämmönsiirtimelle. Haarajohteen kohdalle sijoitetaan kolmitieventtiili, jolla ohjataan nesteen virtaus joko nestejäähdyttimelle tai LTO-levylämmönsiirtimelle. Lauhdenesteen jäähdytys pyritään toteuttamaan kokonaisuudessa LTO-levylämmönsiirtimellä. Nestejäähdytin otetaan käyttöön, jos jäähdytystä ei pystytä LTO-levylämmönsiirtimellä toteuttamaan.

Lämmöntalteenoton levylämmönsiirtimeltä lämpöenergiaa johdetaan nestepiirillä lämpövaraajalle. Kylmä- ja pakkashuoneiden sekä kylmävesipankin ja pikajäähdytyshuoneen lämmöntalteenotto toteutetaan samalla nestepiirillä kyseiseen lämpövaraajaan.

Kuvion 13 selitteet:

- NJ, Nestejäähdytin
- LS, Lämmönsiirrin
- JKK, Kylmäkoneistot

Numeroinnit kylmäkoneistojen edessä kertovat koneiston tunnuksen ja samalla koneistojen lukumäärän.

Kylmähuoneet:

431–442, eli 12 kpl

Pakkashuoneet:

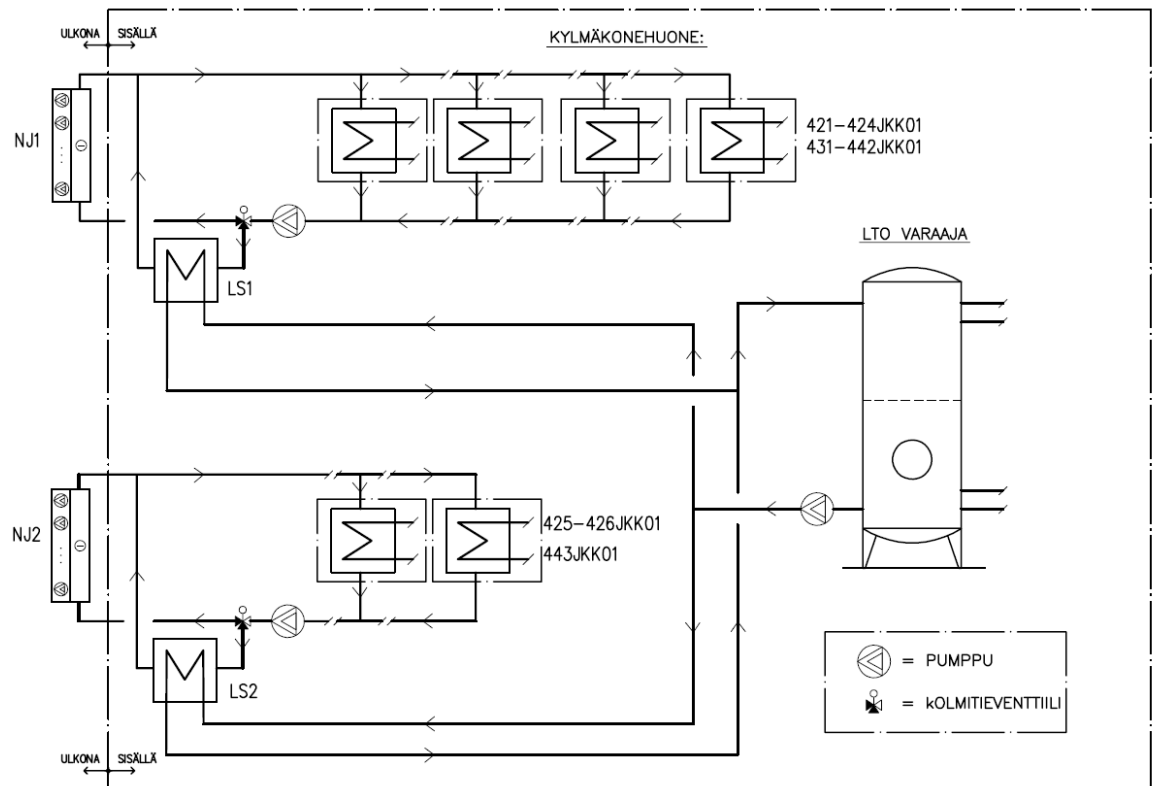
421–424, eli 4 kpl

Pikajäähdytyshuoneet:

425–426, eli 2 kpl

Jäävesipankki:

443, eli 1 kpl



Kuvio 13. Periaatekuva kylmäkoneistojen liitännästä nestelauhdutuspiiriin ja nestelauhdutuksen LTO:n liitännästä nestelauhdutukseen

## 6.2 Lämpövaraajan mitoitus

Lämpövaraaja mitoitettiin laskemalla saatavan lämpöenergian hyödyntämistä kokonaisuudessa joko käyttöveden esilämmittämiseen, tai ilmanvaihdon LTO-glykolipiiriin esilämmittämiseen. Laskelmien perusteella määritettiin lämpövaraajan optimi tilavuus.

### 6.2.1 Lämpövaraajan mitoitus käyttöveden esilämmittämisessä

Lämpövaraajan tilavuuden ja varauskapasiteetin määrittämiseen käytettiin apuna taulukossa 12 esitettyjä lämpöenergia-arvoja. Käyttöveden ja ilmanvaihdon

tuloilman lämmityksen tarpeet vaihtelevat päivän tuntien aikana sekä vuodenajan mukaan, mikä vaikutti lämpövaraajan mitoitukseen.

Kesäpäivänä kohteen työaikana esiintyy käyttöveden lämmitystarvetta, mutta ei suurta ilmanvaihdon tuloilman lämmitystarvetta. Samaisena kesäpäivänä työajan ulkopuolella lämmitystarvetta esiintyy vähäisesti tai ei lainkaan käyttövedenkin osalta. Talvipäivänä kohteen työaikana esiintyy käyttöveden sekä ilmanvaihdon lämmitystarvetta, jolloin kummankin yhteenlaskettu lämmöntarve on suurimmillaan. Työajan ulkopuolella lämmitystä tarvitsee ilmanvaihdon tuloilma ja lämmin käyttövesi vähäisesti tai ei lainkaan.

Lämpövaraaja mitoitettiin säiliössä esiintyvien lämpötilaerojen perusteella. Lämpötilaerona käytettiin 12 °C, joka todettiin laskemalla käyttöveden esilämmittämiseen käytetyn energian määrän ja LTO:sta saatavan energian kulutussuhde. Kulutussuhde on esitetty taulukossa 13. Taulukon 13 energialaskelmat perustuvat kaavaan 12.

$$Q_{kok} = (Q_{lto} - Q_{poistuva}) + Q_{tuleva} \quad (12)$$

missä

$Q_{kok}$  on LTO-varaajaan jäävä lämpöenergia [kWh]

$Q_{poistuva}$  on LTO-varaajan viilenemiseen 6 °C:lla tarvittava poistuva energiamäärä [kWh]

$Q_{tuleva}$  on LTO-varaajaan tuleva lämpöenergiamäärä lämmöntalteenotosta [kWh]

$Q_{lto}$  on LTO-varaajassa oleva lämpöenergian määrä[kWh]

Taulukossa 13 molemmat laskentapalstat ovat identtisiä. Oikeanpuoleisessa palstassa rajatuissa kohdissa kaavasta 12 on poistettu  $Q_{poistuva}$ , sillä kyseisenä ajankohtana halutaan vain varata lämpöä lämmöntalteenotosta. Tarve lämmön pelkälle varaamiselle, mutta ei hyödynnykselle nähdään taulukon 13 vasemmanpuolisesta palstasta.  $Q_{kok}$ -arvon mennessä miinuksien puolelle on

varaajasta kadonnut kaikki hyödynnettävä lämpöenergia. Kun lämpöenergiaa on varattu tarpeeksi, lisätään  $Q_{\text{poistuva}}$  jälleen kaavaan 12. Näin pystytään arvioimaan, kuinka monta tuntia työpäivän aikana pystytään lämmöntalteenottojärjestelmässä olevaa energiaa hyödyntämään käyttöveden esilämmittämiseen.

Taulukko 13. Tammikuun työpäivän lämpötila ja energialaskelmat

Yhden työpäivän (12h) aikana lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluva ja kylmäkoneiden LTO:sta saatavan lämpöenergian jakautuminen																
klo	Energialla kulutetaan, vaikka LTO-varaajasta loppuisi teho						kWh	kWh	Energian kulut lopetetaan jos energiaa ei ole (ainoastaan varastoidaan)						kWh	kWh
	°C	°C	l	l/s	s	min		°C	°C	l	l/s	s	min			
6	26	20	5000	2,4	2089,4	35	57,4	22,52	26	20	5000	2,4	2089,4	35	57,4	22,52
7	20	14	5000	2,4	2089,4	35	45,0	22,52	20	14	5000	2,4	2089,4	35	45,0	22,52
							45,0	45,03							45,0	45,03
7	26	20	5000	2,4	2089,4	35	38,0	27,85	26	20	5000	2,4	2089,4	35	38,0	27,85
8	20	14	5000	2,4	2089,4	35	31,0	27,85	20	14	5000	2,4	2089,4	35	31,0	27,85
							31,0	55,69							31,0	55,69
8	26	20	5000	2,4	2089,4	35	21,1	24,88	26	20	5000	2,4	2089,4	35	21,1	24,88
9	20	14	5000	2,4	2089,4	35	11,1	24,88	20	14	5000	2,4	2089,4	35	11,1	24,88
							11,1	49,76							11,1	49,76
9	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-0,1	23,61	26	20	5000	2,4	2089,4	35	34,7	23,61
10	20	14	5000	2,4	2089,4	35	-11,4	23,61	20	14	5000	2,4	2089,4	35	23,5	23,61
							-11,4	47,21							23,5	47,21
10	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-17,3	28,94	26	20	5000	2,4	2089,4	35	17,6	28,94
11	20	14	5000	2,4	2089,4	35	-23,2	28,94	20	14	5000	2,4	2089,4	35	11,6	28,94
							-23,2	57,87							11,6	57,87
11	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-31,8	26,27	26	20	5000	2,4	2089,4	35	3,1	26,27
12	20	14	5000	2,4	2089,4	35	-40,3	26,27	20	14	5000	2,4	2089,4	35	29,3	26,27
							-40,3	52,54							29,3	52,54
12	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-37,8	37,38	26	20	5000	2,4	2089,4	35	31,9	37,38
13	20	14	5000	2,4	2089,4	35	-35,3	37,38	20	14	5000	2,4	2089,4	35	34,4	37,38
							-35,3	74,75							34,4	74,75
13	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-35,4	34,71	26	20	5000	2,4	2089,4	35	34,3	34,71
14	20	14	5000	2,4	2089,4	35	-35,6	34,71	20	14	5000	2,4	2089,4	35	34,1	34,71
							-35,6	69,42							34,1	69,42
14	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-48,2	22,22	26	20	5000	2,4	2089,4	35	21,5	22,22
15	20	14	5000	2,4	2089,4	35	-60,8	22,22	20	14	5000	2,4	2089,4	35	8,9	22,22
							-60,8	44,43							8,9	44,43
15	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-68,1	27,55	26	20	5000	2,4	2089,4	35	1,6	27,55
16	20	14	5000	2,4	2089,4	35	-75,4	27,55	20	14	5000	2,4	2089,4	35	29,1	27,55
							-75,4	55,09							29,1	55,09
16	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-85,4	24,88	26	20	5000	2,4	2089,4	35	19,2	24,88
17	20	14	5000	2,4	2089,4	35	-95,3	24,88	20	14	5000	2,4	2089,4	35	9,2	24,88
							-95,3	49,76							9,2	49,76
17	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-126,3	3,90	26	20	5000	2,4	2089,4	35	13,1	3,90
18	20	14	5000	2,4	2089,4	35	-157,2	3,90	20	14	5000	2,4	2089,4	35	17,0	3,90
								7,8								7,8

LTO-varaajan viilenemiseen 6°C:lla vaadittava energia														
LVI-kalenteri 2017 s.5														
C <sub>v</sub> (kJ/kg °C)		Massa (kg)		Lämpötilaero (°C)			Energia (kJ)		Muuntokerroin (kJ->kWh)			Energia (kWh)		
4,178		5000		6		=	125340		0,000278		=	34,8		
Aika jossa LTO varaaja viilenee 6°C:lla tietyllä nestevirralla														
Tilavuus (l)		Nestevirta (l/s)		Aika (min)										
5000		2,4		35										

Ulkolämpötila vaikuttaa lauhdenesteen lämpötilaan, joka taas vaikuttaa suoraan lämmöntalteenoton nesteen lämpötilaan. Tästä johtuen varaajasäiliöön ei pystytä varastoimaan tiettyä tasoa enempää energiaa, koska lämpötilaero ei kasva suunnitellun tason yli. Ulkolämpötilan vaikutus lauhdenesteen lämpötilaan on esitetty taulukossa 14.

Taulukon 14 laskenta perustuu nestejäähdyttimen mitoitusohjelmaan. Nestejäähdyttimelle annettiin vakio jäähdytysteho, jonka jälkeen annettiin kesä- ja talviolosuhteiden arvot, joiden välissä nestejäähdyttimen pitää pysyä. Kesän

maksimi ulkolämpötilana käytettiin +30 °C, jolloin lauhdenesteen lämpötilana on +42 °C/+36 °C. Nämä arvot perustuvat nestelauhdutuksen mitoitusarvoihin kesäolosuhteissa. Näin ollen laskentaohjelma antoi nestejäähdyttimeltä lähteväksi ilman lämpötilaksi +37,9 °C. Talviolosuhteissa ulkolämpötilaksi arvioitiin -20 °C ja lauhdenesteen lämpötilaksi +23 °C/+17 °C. Lauhdenesteen nestejäähdyttimeen sisään menevää lämpötilaa ei voida laskea alle +23 °C, sillä nestejäähdyttimen paisuntaventtiilit voisivat vaurioitua liian alhaisessa lämpötilassa. Laskentaohjelma antoi talviolosuhteissa nestejäähdyttimeltä lähteväksi lämpötilaksi +7,4 °C.(Heinonen ym. 2016, 347.)

Kesä- ja talviolosuhteita verrattaessa huomattiin ilman lämpötilaeron olevan kesällä +7,9 °C ja talvella +27,4 °C. Maksimi- ja minimiarvojen avulla pystyttiin interpoloimalla määrittämään eri ulkolämpötilojen aikana vallitseva lauhdenesteen lämpötila.

Taulukossa 15 esitetään lauhdenesteen lämpötilat Seinäjoen keskimääräisten kuukausittaisten ulkolämpötilojen mukaan. Keskimääräiset lämpötilat on otettu Ilmatieteenlaitoksen sivuilta. (Ilmatieteenlaitos, [Viitattu 10.4.2018]).

Taulukko 14. Ulkoilman lämpötilan vaikutus lauhdenesteen lämpötilaan

ilma tulo °C	ilma lähtö °C	ilman lämpötilaero °C	lauhdeneste sisään °C	lauhdeneste ulos °C
-20	7,4	27,4	23	17
-7,2	15,2	22,4	28	22
-6,9	15,4	22,3	28	22
-5	16,6	21,6	29	23
-3,1	17,7	20,8	29	23
-1,1	18,9	20,0	30	24
3	21,4	18,4	32	26
4,3	22,2	17,9	32	26
9,1	25,2	16,1	34	28
9,3	25,3	16,0	34	28
13,8	28,0	14,2	36	30
14,3	28,3	14,0	36	30
16,3	29,5	13,2	37	31
30	37,9	7,9	42	36

Taulukko 15. Lauhdenesteen lämpötilat eri ulkolämpötiloissa

kk	Seinäjäki kk keskilämpötila	neste sisään °C	neste ulos °C
1	-6,9	28	22
2	-7,2	28	22
3	-3,1	29	23
4	3	32	26
5	9,1	34	28
6	13,8	36	30
7	16,3	37	31
8	14,3	36	30
9	9,3	34	28
10	4,3	32	26
11	-1,1	30	24
12	-5	29	23

Taulukosta 12 saadaan määritettyä työajan ulkopuoliseksi lämpöenergianmääräksi n. 94 kWh. Lämpövaraajan mitoitus on esitetty taulukossa 16 ja laskenta pohjautuu kaavaan 13. Laskennassa lauhdelämmön hyödyntämisestä käyttöveden esilämmittämiseen, määritettiin lämpövaraajan varastointikapasiteetiksi n. 69,7 kWh ja tilavuudeksi 5000 litraa.

$$Q = (c_v * m * \Delta t) * 0,000278 \quad (13)$$

missä



$Q$  on lämpövaraajan kokonaisvarausenergia [kWh]

$c_v$  on nesteen ominaislämpökapasiteetti [kJ/kg °C]

$m$  on nesteen massa [kg]

$\Delta t$  on nesteen lämpötilamuutos [°C]

0,000278 on yksikkömuuntokerroin kilojouleista kilowattitunneiksi

(Kaappola, Hirvelä, Jokela & Kianta 2011, 245, Suomen Kalenterit Oy 2017.)

Taulukko 16. Lämpövaraajan mitoitus käyttöveden esilämmittämisessä

					LVI-kalenteri 2017 s.5		
	$C_v$ (kJ/kg °C)	Massa (kg)	Lämpötilaero (°C)		Energia (kJ)	Muuntokerroin (kJ->kWh)	Energia (kWh)
Vesi	4,178	5000	12	=	250680	0,000278	= 69,7

### 6.2.2 Lämpövaraajan mitoitus ilmanvaihdon esilämmittämisessä

Lauhdelämmön hyödyntämisessä ilmanvaihdon lämmöntalteenoton esilämmittämiseen täytyi laskea ilmanvaihdon tarvitsema vuosittainen lämmitysenergian tarve.

Taulukossa 17 määritettiin ilmanvaihdon tarvitsema lämpöteho eri kuukausien keskilämpötilojen mukaan. Taulukossa on myös esitettyä lämpötehotarve, joka pystytään poistamaan ilmanvaihdon lämmöntalteenotolla. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton hyötysuhde 58,8% on määritetty olemassa olevan ilmanvaihtokoneen laitetiedoista. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton hyötysuhde 62,27% määritettiin jakamalla taulukon 20 normitettu lämpöenergia arvo 356 MWh taulukon 18 arvolla 232 MWh.

$$\Phi = 0,33 * q_1 * \Delta t \quad (14)$$

missä

$\Phi$  on ilmanvaihdon tarvitsema lämpöteho [kW]

$q_1$  on ilmavirta [m³/h]

$\Delta t$  on ilman lämpötilamuutos [°C]

(Suomen Kalenterit Oy 2017, 36.)

Taulukko 17. Ilmanvaihdon lämpötehon tarve kuukausikohtaisesti

							IV-LTO hyötysuhde	
							kW	kW
kk		m <sup>3</sup> /s	°C	°C	W	kW	58,8 %	65,27 %
1	0,33	16	18	-6,4	463795	464	273	303
2	0,33	16	18	-7,2	479002	479	282	313
3	0,33	16	18	-3,1	401069	401	236	262
4	0,33	16	18	3	285120	285	168	186
5	0,33	16	18	9,1	169171	169	99	110
6	0,33	16	18	13,8	79834	80	47	52
7	0,33	16	18	16,3	32314	32	19	21
8	0,33	16	18	14,3	70330	70	41	46
9	0,33	16	18	9,3	165370	165	97	108
10	0,33	16	18	4,3	260410	260	153	170
11	0,33	16	18	-1,1	363053	363	213	237
12	0,33	16	18	-5	437184	437	257	285

Taulukossa 18 on laskettu taulukon 12 lämpöenergia-arvojen perusteella kuukausikohtainen lauhdelämmöntalteenoton määrä. Taulukon 18 viimeisessä sarakkeessa on lisätty kuukausikohtaiseen lauhdelämmön LTO-lämpöenergiamäärään taulukon 21 normitettu lämpöenergiamäärä.

Taulukko 18. Lauhdutuksen lämmöntalteenotosta saatavan lämpöenergian kuukausikohtainen määrä

LTO kWh/pv		LTO kWh/pv		
742,33		100,00 %	742,33	
kk	pv/kk	kWh/kk	MWh/kk	
1	31	23012	23	232
2	28	20785	21	214
3	31	23012	23	206
4	30	22270	22	110
5	31	23012	23	58
6	30	22270	22	27
7	31	23012	23	24
8	31	23012	23	31
9	30	22270	22	72
10	31	23012	23	115
11	30	22270	22	180
12	31	23012	23	231

Lämpöenergian kulutus ilmanvaihdon lämmittämiseen on laskettu kaavalla 15. Kaavassa 15 esiintyvä teho  $P$  on laskettu taulukossa 17 ja lämmitystarveluku ilmoitetaan taulukossa 19.

$$Q = (P * 24 * s) / \Delta t \quad (15)$$

missä

$Q$  on energian kulutus ilmanvaihdon lämmittämiseen [kWh]

$P$  on teho mitoitusolosuhteissa [kW]

$s$  on lämmitystarveluku

$\Delta t$  on ilman lämpötilamuutos [°C]

(Suomen Kalenterit Oy 2017, 36.)

Ilmanvaihdon lämpöenergian normituksella lasketaan halutun paikkakunnan tarvittava lämpöenergiamäärä käyttämällä apuna mitoituspaikkakunnalla mitattuja arvoja. Kulutuksen normituksessa käytetään kaavaa 16

$$Q_{\text{norm}} = k_2 * \left( \frac{S_{N \text{ vpkunta}}}{S_{\text{toteutunut vpkunta}}} \right) * Q_{\text{toteutunut}} \quad (16)$$

missä

$Q_{\text{norm}}$  on normitettu energian kulutus ilmanvaihdon lämmittämiseen [kWh]

$k_2$  on paikkakuntaakohtainen korjauskerroin Jyväskylään

$S_{N \text{ vpkunta}}$  on normaalivuoden tai kuukauden (1981-2010) lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla

$S_{\text{toteutunut}}$  lämmitystarveluku vuosi- tai kuukausitasolla vertailupaikkakunnalla

(Motiva Oy, [Viitattu 18.4.2018]).

Taulukossa 20 on määritetty ilmanvaihdon lämmitykseen tarvittava lämpöenergian määrä, jos ilmanvaihdon lämmöntalteenottoa ei hyödynnetä. Näiden tulosten avulla pystyttiin laskemaan taulukoiden 21 ja 22 lämpöenergiamäärät, kun tiedettiin lämmöntalteenoton hyötysuhteet taulukosta 17. Taulukoissa 20, 21 ja 22 on käytetty kaavoja 15 ja 16.

Taulukko 19. Lämmitystarveluku Seinäjoen vertailupaikkakunnalla (Ilmatieteenlaitos, [Viitattu 17.4.2018]).

	Kunta	VERTAILUPAIKKA	2017 Toteutunut	normaaliavuoden lämmitystarveluku	K1	K2
kk	Seinäjoki	Tampere-Pirkkala	Tampere-Pirkkala	4424	0,95	1,04
1		724	639			
2		675	601			
3		612	521			
4		400	466			
5		176	225			
6		28	40			
7		5	12			
8		34	37			
9		192	190			
10		382	404			
11		529	453			
12		667	544			

Taulukko 20. Ilmanvaihdon lämmityksen lämpöenergian määrä Seinäjoella ilman ilmanvaihdon lämmöntalteenottoa

Seinäjoki	Ilman ilmanvaihdon LTO:ta							
kk	kW		Lämmitystarveluku	(°C)	(°C)	kWh	MWh	MWh normitettu
1	464	24	724	18	-6,4	330283	330	356
2	479	24	675	18	-7,2	307930	308	329
3	401	24	612	18	-3,1	279190	279	312
4	285	24	400	18	3	182477	182	149
5	169	24	176	18	9,1	80290	80	60
6	80	24	28	18	13,8	12773	13	8
7	32	24	5	18	16,3	2281	2,3	0,9
8	70	24	34	18	14,3	15511	16	14
9	165	24	192	18	9,3	87589	88	84
10	260	24	382	18	4,3	174265	174	157
11	363	24	529	18	-1,1	241326	241	268
12	437	24	667	18	-5	304280	304	354

Taulukko 21. Ilmanvaihdon lämmityksen lämpöenergian määrä Seinäjoella ilmanvaihdon lämmöntalteenoton kanssa

Seinäjoki	Ilmanvaihdon LTO:n kanssa								
kk	kW		Lämmitystarveluku	(°C)	(°C)	kWh	MWh	MWh normitettu	IV-lämpöpatterin tarvitsema lämpöenergia (MWh)
1	273	24	724	18	-6,4	194206	194	209	146
2	282	24	675	18	-7,2	181063	181	193	135
3	236	24	612	18	-3,1	164163	164	183	128
4	168	24	400	18	3	107296	107	87	61
5	99	24	176	18	9,1	47210	47	35	25
6	47	24	28	18	13,8	7511	8	5	3
7	19	24	5	18	16,3	1341	1,3	0,5	0,4
8	41	24	34	18	14,3	9120	9	8	6
9	97	24	192	18	9,3	51502	52	49	35
10	153	24	382	18	4,3	102468	102	92	64
11	213	24	529	18	-1,1	141899	142	157	110
12	257	24	667	18	-5	178917	179	208	146

Taulukko 22. Ilmanvaihdon lämmityksen lämpöenergian määrä Seinäjoella ilmanvaihdon lämmöntalteenoton kanssa sekä kylmäkoneiden lämmöntalteenoton hyödynnyksellä

Seinäjoki	Ilmanvaihdon LTO:n sekä Kylmäkoneiden LTO:n kanssa								
kk	kW		Lämmitystarveluku	(°C)	(°C)	kWh	MWh	MWh normitettu	IV-lämpöpatterin tarvitsema lämpöenergia (MWh)
1	303	24	724	18	-6,4	215586	216	232	123
2	313	24	675	18	-7,2	200995	201	214	114
3	262	24	612	18	-3,1	182236	182	203	108
4	186	24	400	18	3	119108	119	97	52
5	110	24	176	18	9,1	52408	52	39	21
6	52	24	28	18	13,8	8338	8	6	3
7	21	24	5	18	16,3	1489	1,5	0,6	0,3
8	46	24	34	18	14,3	10124	10	9	5
9	108	24	192	18	9,3	57172	57	55	29
10	170	24	382	18	4,3	113748	114	102	54
11	237	24	529	18	-1,1	157521	158	175	93
12	285	24	667	18	-5	198613	199	231	123

Lämpövaraaja pystyttiin mitoittamaan kooltaan pienemmäksi, kun lauhdelämmön lämmöntalteenoton lämpöenergia hyödynnettiin kokonaan ilmanvaihdon lämmöntalteenoton esilämmittämiseen. Lauhdelämmön lämpöenergiaa ei tarvitse varastoida tässä tapauksessa, sillä ilmanvaihdon lämpöenergian tarve on suuri ja lämpötarvetta esiintyy lähes ympäri vuoden.

Lämpövaraajan mitoituksessa on käytetty kaavaa 13. Laskennassa ilmanvaihdon lämmöntalteenoton lämmittämisen lämpövaraajan varastointikapasiteetiksi määritettiin n. 34,8 kWh ja tilavuudeksi 2500 litraa. (Taulukko 23)

Taulukko 23. Lämpövaraajan mitoitus ilmanvaihdon LTO:n esilämmittämässä

					LVI-kalenteri 2017 s.5		
	$C_v(\text{kJ/kg } ^\circ\text{C})$	Massa (kg)	Lämpötilaero ( $^\circ\text{C}$ )	=	Energia (kJ)	Muuntokerroin (kJ->kWh)	= Energia (kWh)
Vesi	4,178	2500	12	=	125340	0,000278	= 34,8

### 6.3 Lämmöntalteenotto lämmönsiirtimien mitoitus ja valinta

Kylmä- ja pakastevarastojen kylmäkoneistojen lauhdutus suunniteltiin toteutettavaksi yhdellä nestejäähdyttimellä sekä pikajäähdytyshuoneiden ja jäävesipankin kylmäkoneet myös yhdellä nestejäähdyttimellä. Ensimmäisen nestejäähdyttimen tehoksi määrittyi 82 kW tarvittavan lauhdutustehon myötä ja toisen tehoksi 140 kW. Lauhdelämmön talteenottolämmönsiirrinten tehot mitoitettiin samalle tehomäärälle kuin nestejäähdyttimien.

Lämmönsiirrinten mitoituksessa ja valinnassa käytettiin SWEP SSP-mitoitusohjelmaa, jolla määriteltiin sopiva lämmönsiirrin lauhdutuksen korkeimmalla ja matalimmalla lämpötilalla. Lauhdutuksen korkein lämpötila määritetään yleisesti kesäisin arvoon +42 °C/+36 °C, jolloin ulkolämpötila on +30 °C. Matalimmaksi lämpötilaksi määritetään +23 °C/+17 °C, mutta ulkolämpötilaa ei tällöin tiedetä. Tämä johtuu siitä, että lauhdenesteen lämpötilaa ei saa laskea alle +17 °C, jotteivat nestejäähdyttimen paisuntaventtiilit häiriinny. Lämmöntalteenoton nesteen lämpötila suunniteltiin 6 °C lämpötilaerolla ja lämmönsiirtimen lämpöhäviöksi arvioitiin 2 °C, joten LTO-nesteen lämpötila lauhdenesteen ollessa +42 °C/+36 °C on +34 °C/+40 °C

Näiden arvojen avulla pystyttiin määrittämään mitoitusohjelmalla sopivat lämmönsiirtimet, jotka toimivat sekä korkeammassa että matalammassa lauhdenesteen lämpötilassa. Laskentaohjelma antaa myös tarvittavat nestevirtojen määrät lauhdenestepuolella sekä lämmöntalteenottopuolelle. (Taulukko 24)

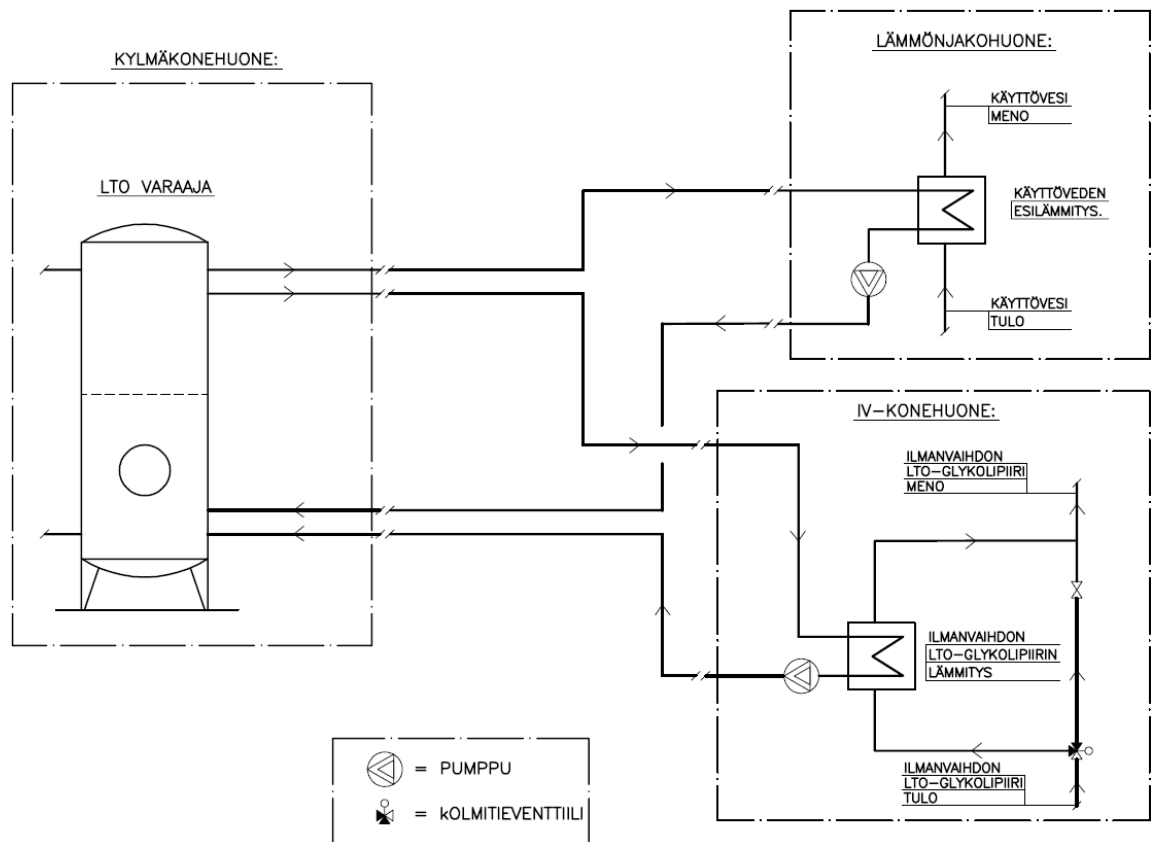
Taulukko 24. Lämmöntalteenotto lämmönsiirrinten mitoitus tiedot

Kylmä- ja pakastehuoneiden kylmäkoneiden lämmöntalteenotto lämmönsiirrinten mitoitustiedot.			
Lauhdutusteho 82kW			
Neste	Lauhdeneste sisään (°C)	Lauhdeneste ulos (°C)	Nestevirta (l/s)
Elyleeniglykoli 40 p%	42	36	3,867
Neste	Ito-neste sisään (°C)	Ito-neste ulos (°C)	Nestevirta (l/s)
Vesi	34	40	3,271
Pikajäähdetyshuoneiden ja jäävesipankin kylmäkoneiden lämmöntalteenotto lämmönsiirrinten mitoitustiedot.			
Lauhdutusteho 140kW			
Neste	Lauhdeneste sisään (°C)	Lauhdeneste ulos (°C)	Nestevirta (l/s)
Elyleeniglykoli 40 p%	42	36	6,603
Neste	Ito-neste sisään (°C)	Ito-neste ulos (°C)	Nestevirta (l/s)
Vesi	34	40	5,584

## 6.4 Lauhdelämmön hyödyntäminen kohteessa

Kohteen parhaiksi lämmönhyödyntämiskohteiksi valikoituivat käyttöveden esilämmittäminen sekä ilmanvaihdon LTO-systeemin esilämmittäminen. Lämmityskohteet valikoituivat parhaiksi niiden lämmitystarpeen määrän ja systeemien sopivien lämpötilatasojen mukaan. Kuviossa 14 on esitetty

periaatekuva nestelauhdutuksen LTO:n liitännästä käyttöveden esilämmitykseen ja IV-LTO glykolipiirin esilämmittämiseen.



Kuvio 14. Periaatekuva nestelauhdutuksen LTO:n liitännästä käyttöveden esilämmitykseen ja IV-LTO glykolipiirin esilämmittämiseen

#### 6.4.1 Käyttöveden esilämmitys

LTO-varaajasta lämpöä siirretään käyttöveden esilämmittämiseen lämmönsiirtimellä. Käyttövettä ei pystytä lämmittämään täysin LTO:lla, sillä lämmin käyttövesi tulisi olla 55 °C:n lämpötilassa ja LTO-varaajassa esiintyvä korkein lämpötila on 40 °C. Käyttöveden lämmittäminen on mitoitettu keskiarvolämpötilaerolla, joka arvioitiin käyttöveden virtaamalla 0,5 l/s. Tulevan kylmän käyttöveden lämpötila LTO-lämmönsiirtimeen on +10 °C ja LTO-lämmönsiirtimeltä lähtevän veden lämpötila +38 °C. Taulukossa 25 on esitetty käyttöveden lämmittämiseen vuonna 2017 kuluneen lämpöenergian määrä. Energiatiedot saatiin energiamittarista, jota käytettiin ravintokeskuksen lämpimän käyttöveden mittauksessa ennen rakennuksen muutostöitä.



Energiatietoja pystyttiin hyödyntämään kulutetun lämpöisen käyttöveden määrän arvioimiseen, jonka avulla määritettiin energiamäärä, joka tarvittaisiin käyttöveden lämmittämiseen, jos käyttövesi esilämmitettäisiin +10 °C:sta +38 °C:een. Esilämmitetyn käyttöveden suhde esilämmittämättömään on esitetty taulukossa 26.

Taulukko 25. Käyttöveden lämmittämiseen käytetty lämpöenergia vuonna 2017 (Seinäjoen keskussairaalan ravintokeskuksen energiamittarista saadut mittautustiedot).

pv/kk		kk	MWh/kk	kWh/kk	kWh/pv	kWh		
31		1	17,2	17200	555	46,2		
28		2	17,9	17900	639	53,3		
31		3	19,8	19800	639	53,2		Keskiarvo
30		4	18,3	18300	610	50,8		kWh
31		5	18,3	18300	590	49,2		48,4
30		6	17,7	17700	590	49,2		
31		7	17,5	17500	565	47,0		
31		8	16,3	16300	526	43,8		
30		9	16,7	16700	557	46,4		
31		10	17,4	17400	561	46,8		
30		11	17	17000	567	47,2		
31		12	17,8	17800	574	47,8		

Taulukko 26. LTO:n hyödyntämisen ja hyödyntämättömyyden suhde

Energia (kWh)	Muuntokerroin (kJ->kWh)	Energia (kJ)	Lämpötilaero (°C)	C <sub>v</sub> (kJ/kg °C)		Massa (kg)		h/d	Lämmintä vettä päivässä (l/d)
48,4	0,000278	174168	45	4,178	=	926	=	11	10190
C <sub>v</sub> (kJ/kg °C)	Lämmintä vettä päivässä (l/d)	h/d	Massa (kg)	Lämpötilaero (°C)		Energia (kJ)	Muuntokerroin (kJ->kWh)		Energia (kWh)
4,178	10190	11	926	17	=	65797	0,000278	=	18,3

Taulukon 13 avulla pystyttiin määrittämään, kuinka kauan käyttöveden esilämmittäminen teoreettisesti olisi mahdollista ja sen avulla määritettiin päivittäisen energiansäästön määrä taulukossa 27.

Taulukko 27. LTO-energian hyödyntämisen päivittäinen säästö käyttöveden esilämmittämisestä

	kWh	h/d	kWh/d	MWh/d	e/MWh		
LTO:n kanssa	18,3	11	201,21	0,20	45,16	9,09	
							Säästö (e/päivässä)
	kWh	h/d	kWh/d	MWh/d	e/MWh		14,97 €
Ilman LTO	48,4	11	532,61	0,53	45,16	24,05	

Taulukko 28. Vuodessa saavutettava säästö käyttöveden esilämmittämisellä

Tammikuu				Helmikuu				Maaliskuu			
	kWh/kk	MWh/kk	€/kk		kWh/kk	MWh/kk	€/kk		kWh/kk	MWh/kk	€/kk
	6237	6,24	281,68		5634	5,63	254,42		6237	6,24	281,68
pv/kk			Säästö (€/kk)	pv/kk			Säästö (€/kk)	pv/kk			Säästö (€/kk)
31			463,95 €	28			419,05 €	31			463,95 €
	16511	16,51	745,63		14913	14,91	673,47		16511	16,51	745,63
Huhtikuu				Toukokuu				Kesäkuu			
	kWh/kk	MWh/kk	€/kk		kWh/kk	MWh/kk	€/kk		kWh/kk	MWh/kk	€/kk
	6036	6,04	272,59		6237	6,24	281,68		6036	6,04	272,59
pv/kk			Säästö (€/kk)	pv/kk			Säästö (€/kk)	pv/kk			Säästö (€/kk)
30			448,98 €	31			463,95 €	30			448,98 €
	15978	15,98	721,57		16511	16,51	745,63		15978	15,98	721,57
Heinäkuu				Elokuu				Syyskuu			
	kWh/kk	MWh/kk	€/kk		kWh/kk	MWh/kk	€/kk		kWh/kk	MWh/kk	€/kk
	6237	6,24	281,68		6237	6,24	281,68		6036	6,04	272,59
pv/kk			Säästö (€/kk)	pv/kk			Säästö (€/kk)	pv/kk			Säästö (€/kk)
31			463,95 €	31			463,95 €	30			448,98 €
	16511	16,51	745,63		16511	16,51	745,63		15978	15,98	721,57
Lokakuu				Marraskuu				Joulukuu			
	kWh/kk	MWh/kk	€/kk		kWh/kk	MWh/kk	€/kk		kWh/kk	MWh/kk	€/kk
	6237	6,24	281,68		6036	6,04	272,59		6237	6,24	281,68
pv/kk			Säästö (€/kk)	pv/kk			Säästö (€/kk)	pv/kk			Säästö (€/kk)
31			463,95 €	30			448,98 €	31			463,95 €
	16511	16,51	745,63		15978	15,98	721,57		16511	16,51	745,63
											Säästö (€/vuodessa)
											5 462,59 €

Taulukossa 28 esitetään laskennan pohjalta saatu vuosittainen käyttöveden esilämmittämisen hyöty.

#### 6.4.2 Rakennuksen ilmanvaihdonlämmitys

Vähentämällä taulukon 21 (IV-lämpöpatterin tarvitsema lämpöenergia (MWh)) arvosta taulukon 22 (IV-lämpöpatterin tarvitsema lämpöenergia (MWh)) arvo pystyttiin määrittämään taulukkoon 29 ilmanvaihdon lämmityksestä poistuvan lämmitysenergian määrä ja tämän avulla määritettiin kuukaudessa tuleva säästö Seinäjoen kaukolämmön hinnalla 45,16 €/MWh.

Taulukko 29. Kuukausikohtainen säästö ilmanvaihdon lämmöntalteenottojärjestelmän lisälämmittämisellä lauhdelämmöntalteenoton avulla

kk	MWh	€/MWh	
1	23,0	45,16	1 039,23 €
2	21,3	45,16	960,44 €
3	20,2	45,16	910,75 €
4	9,6	45,16	434,98 €
5	3,9	45,16	174,41 €
6	0,5	45,16	24,83 €
7	0,1	45,16	2,64 €
8	0,9	45,16	39,58 €
9	5,4	45,16	245,80 €
10	10,1	45,16	457,60 €
11	17,3	45,16	782,62 €
12	22,9	45,16	1 036,07 €
			Säästö vuodessa
			<b>6 108,96 €</b>

#### 6.4.3 Rakennuksen ilmanvaihdonlämmitys sekä käyttöveden esilämmitys

Lauhdelämmön hyödyntämien vuositasolla todettiin paremmaksi ilmanvaihdon LTO:n esilämmittämiseen. Tästä syystä lämpövaraajan mitoitustilavuudeksi määrittyi 2500 litraa, jolloin lauhdelämmön hyödynnys käyttöveteen tuli laskea uudelleen. 2500 litran varaajan kuukausikohtainen hyöty on esitetty taulukossa 30.

Taulukko 30. Lauhdelämmön hyöty käyttöveden esilämmittämiseen

Lauhdelämmön talteenoton hyödyntäminen käyttöveden esilämmittämiseen 2500L lämpövaraajalla.			
kk	MWh	€/MWh	
1	10,27	45,16	463,95 €
2	9,28	45,16	419,05 €
3	10,27	45,16	463,95 €
4	9,94	45,16	448,98 €
5	10,27	45,16	463,95 €
6	9,94	45,16	448,98 €
7	10,27	45,16	463,95 €
8	10,27	45,16	463,95 €
9	9,94	45,16	448,98 €
10	10,27	45,16	463,95 €
11	9,94	45,16	448,98 €
12	10,27	45,16	463,95 €
			Säästö vuodessa
			<b>5 462,62 €</b>

Taulukosta 29 nähdään huhti-lokakuun lauhdelämmön hyödynnyksen ilmanvaihdon LTO:n lämmittämiseen olevan pienempi kuin taulukossa 30 on käyttöveden esilämmittämiseksi laskettu. Näinä aikoina käyttöveden esilämmittäminen on hyödyllisempää kuin ilmanvaihdon LTO:n lämmittäminen.

Taulukko 31. Lauhdelämmön optimi hyödynnys

kk		Hyödyntämiskohde
1	<b>1 039,23 €</b>	IV-LTO
2	<b>960,44 €</b>	IV-LTO
3	<b>910,75 €</b>	IV-LTO
4	448,98 €	lämpimän veden esilämmitys
5	463,95 €	lämpimän veden esilämmitys
6	448,98 €	lämpimän veden esilämmitys
7	463,95 €	lämpimän veden esilämmitys
8	463,95 €	lämpimän veden esilämmitys
9	448,98 €	lämpimän veden esilämmitys
10	463,95 €	lämpimän veden esilämmitys
11	<b>782,62 €</b>	IV-LTO
12	<b>1 036,07 €</b>	IV-LTO
	Säästö vuodessa	
	<b>7 931,85 €</b>	

Kuviossa 15 esitetään prosentuaalisesti taulukon 31 pohjalta, paljonko lauhdelämmöstä voidaan teoreettisesti hyödyntää optimoidusti ilmanvaihdon LTO:n lämmittämiseen, lämpimän käyttöveden esilämmittämiseen ja paljonko lauhdelämmöstä menee hukkaan.



Kuvio 15. Lauhdelämmön vuosittaisen hyödyntämiskapasiteetin diagrammi

## 6.5 Lauhdelämmön talteenottojärjestelmän laitteiden investointikustannukset

Investointikustannuksia laskettaessa käytettiin laitteiden hintoina joko yrityksen nettisivuilta löytyviä ajantasaisia hintoja, tai yrityksen toimihenkilöiltä saatuja hintoja. Hinnat voivat muuttua laitetoimittajien ja asiakkaan välisten tarjousten mukaan, mutta näitä hintoja ei tähän opinnäytetyöhön saatu laitteiston ollessa vielä tällöin suunnitteluvaiheessa. Taulukossa 32 on esitetty lauhdelämmön talteenottojärjestelmän laitteiden investointikustannuksia. Taulukossa 33 on tarkasteltu laitteiston takaisinmaksuaikaa taulukosta 32 saatujen laitteiden investointikustannusten ja taulukoiden 29, 30 ja 31 vuosittaisten säästöjen avulla. Taulukon 33 laskennassa ei ole huomioitu laitteiston putkistojen tai rakentamiskustannusten hintaa.

Taulukko 32. Lauhdelämmön talteenottolaitteiston investointikustannukset

Laitteen nimi	Yritys	Laitetunnus/käyttötarkoitus	Investointikustannus (€)	alv %	Laitetietoja
AKVA PRO	Akvaterm Oy	Lauhdelämmönvaraajasäiliö	2500,00€	0	Tilavuus 2500l
B120TH x 140	SWEP	LS1/lämmönsiirrin	1448,00€	0	Laitetehto mitoitussuhteissa 82 kW
B50H x 240	SWEP	LS2/lämmönsiirrin	2622,00€	0	Laitetehto mitoitussuhteissa 140 kW
B35TM2 x 120	SWEP	Ilmanvaihdon LTO-glykolipiirin esilämmitys lämmönsiirrin	1330,00€	0	Laitetehto mitoitussuhteissa 30 kW
B12MT x 60	SWEP	Lämpimän käyttöveden esilämmitys lämmönsiirrin	235,00€	0	Laitetehto mitoitussuhteissa 60 kW
L-80A/4 VS	Kolmeks Oy	Lauhdelämmön talteenoton pumppu	2955,00€	0	Mitoitusvirtaama 8,9 l/s
AE-26/2 VS	Kolmeks Oy	Ilmanvaihdon LTO-verkon esilämmityksen pumppu	2207,00€	0	Mitoitusvirtaama 1,2 l/s
L-32A/2 VS	Kolmeks Oy	Lämpimän käyttöveden esilämmityksen pumppu	2247,00€	0	Mitoitusvirtaama 2,4 l/s
		Investointikustannus	15544,00€		

Taulukko 33. Lauhdelämmön talteenottojärjestelmän laitteiden takaisinmaksuaika

laitteiden investointikustannukset (€)	lauhdelämmön talteenoton hyöty (€/vuosi)	Laitteiden takaisinmaksuaika
	Hyödyn käyttö täysin ilmanvaihdon LTO-esilämmitykseen (arvo taulukosta 29)	
15544,00€	6108,96€	3 vuotta
	Hyödyn käyttö täysin lämpimän käyttöveden esilämmitykseen (arvo taulukosta 30)	
15544,00€	5462,59€	3 vuotta
	Molempien järjestelmien optimoitu hyödyntäminen (arvo taulukosta 31)	
15544,00€	7931,85€	2 vuotta

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyössä tutkittiin Seinäjoen keskussairaalan ravintokeskuksen kylmä- ja pakkahuoneiden sekä pikajäähdytyshuoneiden ja jäävesipankin kylmäkoneiden tuottaman lauhdelämmön hyödyntämistä lämpimän käyttöveden esilämmittämisessä ja ilmanvaihdon LTO-glykolipiirin esilämmittämisessä.

Selvityksessä kävi ilmi, että lauhde-energian määrä on teoreettisesti n. 0,7 MWh päivän aikana. Laskennassa huomattiin lauhdelämmön talteenoton olevan järkevää sen suuren määrän ja samanaikaisen ilmanvaihdon sekä käyttöveden lämmittämisen suuren lämmitysenergiatarpeen vuoksi.

Parhaimmaksi hyödyntämiskohteeksi valikoitui ilmanvaihdon lämmöntalteenoton lämmittäminen paremman investoinnin ja säästön suhteen vuoksi. Käyttöveden esilämmittämistä on järkevää käyttää kesäisin, kun ilmanvaihdon lämmitystarve on pienimmillään.

Opinnäytetyön laskelmia voidaan käyttää perusteena suunnitellun laitteiston rakentamiselle ja hyödyntämisen etujen esittämiseksi. Laskelmien tulokset ovat tarkasti esitettyinä, joten mahdollisissa tilanteissa, joissa huoneiden jäähdytyskapasiteetteja joudutaan muuttamaan, ovat työn laskemat helposti muutettavissa uusien lopputulosten saamiseksi. Tulevaisuudessa kohteen lauhdelämmön talteenottojärjestelmän toimintaa olisi järkevää tutkia tarkempien säästöjen, sekä laitteiston todenmukaisen toiminnan määrittämiseksi.

## LÄHTEET

- Aalto, E., Alijoki, T., Hakala, P., Hirvelä, A., Kaappola, E., Mentula, J. & Seinälä, A. 2008. Kylmäteknikka. 3. painos. Jyväskylä: Suomen Kylmäyhdistys ry.
- Ahlsell. Ei päiväystä. Hermeettinen kompressori. [Verkkosivu]. [Viitattu 18.1.2018]. Saatavana: <https://www.ahlsell.fi/34/kylma/01-kompressorit/hermeettiset-kompressorit/embraco/761212330/>
- Ahlsell. Ei päiväystä. Puolihermeettinen kompressori. [Verkkosivu]. [Viitattu 18.1.2018]. Saatavana: <https://www.ahlsell.fi/34/kylma/01-kompressorit/puolihermeettiset-kompressorit/bitzer/69003016/>
- Akvaterm. Ei päiväystä. AKVA PRO. [Verkkosivut]. Kookola: Akvaterm Oy. [Viitattu 15.3.2018]. Saatavana: [http://www.akvaterm.fi/files/akva\\_pro\\_fin\\_2013.pdf](http://www.akvaterm.fi/files/akva_pro_fin_2013.pdf)
- Alfa Laval. Ei päiväystä. Ilmalauhduttimet. [Verkkosivu]. [Viitattu 17.1.2018]. Saatavana: <https://www.alfalaval.fi/tuotteet-ja-jarjestelmat/lammonsiirto/lamelli-ilmalammonvaihtimet/ilmalauhduttimet/alfablue-bn/>
- Alfa Laval. Ei päiväystä. Ilmajäähdyttimet. [Verkkosivu]. [Viitattu 15.3.2018]. Saatavana: <https://www.alfalaval.fi/tuotteet-ja-jarjestelmat/lammonsiirto/lamelli-ilmalammonvaihtimet/ilmajaaahdyttimet/optigo-cs/>
- GEA. Ei päiväystä. Avokompressori. [Verkkosivu]. [Viitattu 18.1.2018]. Saatavana: <https://www.gea.com/de/products/f-nh3-compressors.jsp>
- Global Spec. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. New York: IHS Engineering 360. [Viitattu 15.3.2018]. Saatavana: <https://www.globalspec.com/ImageRepository/LearnMore/20123/Image1578668378138141b5bb088e9b5da271af.gif>
- Hakala, P. & Kaappola, E. 2011. Kylmälaitoksen suunnittelu. 2-1. painos. Helsinki: Opetushallitus.
- Heinonen, J., Holmberg, R., Hyvärinen, K., Hänninen, R., Jokinen, L., Kauppinen, K., Keinonen, P., Koivula, U., Koskela, H., Koskinen, E., Kosonen, R., Laine, T., Liljeström, K., Lönnström, J., Mustakallio, P., Mäkinen, P., Nykvist, A., Paasio, I., Pessi, P., Pettersson, H., Pihlajamaa, P., Railio, J., Rantamaa, M., Ripatti, H., Shalsten, T., Sandberg, E., Silva, J., Sundman, T., Säteri, J., Tammivaara, H., Valkeapää, A., Vuolle, M. 2016. Ilmastointilaitoksen mitoitus. 2. painos. Forssa: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- Ilmatieteen laitos. Ei päiväystä. Kuukausitilastot. [Verkkosivu]. [Viitattu 10.4.2018]. Saatavana: <http://ilmatieteenlaitos.fi/kuukausitilastot>



Ilmatieteen laitos. Ei päiväystä. Lämmitystarveluvut. [Verkkosivu]. [Viitattu 17.4.2018]. Saatavana: <http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>

Jonsson, S. & Westman, J. 2011. Cryogenic biogas upgrading using plate heat exchangers. Master's Thesis. Chalmers University of Technology.

Kaappola, E., Hirvelä, A., Jokela, M. & Kianta, J. 2011. Kylmätekniikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus.

Kapanen, M. (toim.) 19.9.2017. Kylmäainetilanne 2017. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Suomen kylmäyhdistys ry. [Viitattu 17.1.2018]. Saatavana: <http://www.skll.fi/www/att.php?type=2&id=305>

Kivisaari, A. 2016. Vaasan keskussairaalan aluejäähdytyksen lauhdelämmön hyödyntäminen. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikka koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [Viitattu 2.3.2018]. Saatavana: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/108846/Kivisaari\\_Aleksi.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/108846/Kivisaari_Aleksi.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Linde Group. Ei päiväystä. Luonnolliset kylmäaineet. [Verkkosivu]. [Viitattu 18.1.2018]. Saatavana: [http://www.linde-gas.com/en/products\\_and\\_supply/refrigerants/natural\\_refrigerants/index.html](http://www.linde-gas.com/en/products_and_supply/refrigerants/natural_refrigerants/index.html)

Motiva Oy. 12/2016. Kulutuksen normitus. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Motiva Oy. [Viitattu 18.4.2018]. Saatavana: [https://www.motiva.fi/files/12186/Kulutuksen\\_normitus\\_Laskentakaavat\\_ja\\_ohjeet\\_Motiva\\_Oy\\_12-2016.pdf](https://www.motiva.fi/files/12186/Kulutuksen_normitus_Laskentakaavat_ja_ohjeet_Motiva_Oy_12-2016.pdf)

Rautala, J. 2010. Tuloilman jäähdyttämisestä lämpöpumpulla saatavan energian siirtäminen käyttöveden lämmitykseen. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Energiatekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [Viitattu 2.3.2018]. Saatavana: [http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/24822/Rautala\\_Jaakko.pdf;jsessionid=CF797032E34F198E482350660C0914C5?sequence=1](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/24822/Rautala_Jaakko.pdf;jsessionid=CF797032E34F198E482350660C0914C5?sequence=1)

Suomen Kalenterit Oy. 2017. LVI kalenteri 2017. 29. vuosikerta. Helsinki: Suomen Kalenterit Oy.

Suomen Kylmäliikkeiden liitto ry. 1/2104. Kylmäextra. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Suomen Kylmäliikkeiden Liitto ry. [Viitattu 31.1.2018]. Saatavana: <http://www.e-julkaisu.fi/skll/ke1401/#pid=1>

Teca. Ei päiväystä. Nirvana 37-160 kW. [Verkkosivu]. Vantaa: Teca Oy. [Viitattu 15.3.2018]. Saatavana: <http://www.teca.fi/tuotteet/paineilma-pneumatiikka/paineilmakompressorit/ruuvikompressorit/oljyttomat-ruuvikompressorit/1423/nirvana-37-160-kw>

## LIITTEET

Liite 1. Kylmähuoneiden, pakastushuoneiden, pikajäähdytys huoneiden sekä jäävesipankin kylmätehojen laskentapohjat

Liite 2. Kuukauden yhden työpäivän aikana talteen otettavan ja käyttöveden lämmittämiseen käytettävän lämpöenergian suhde

LIITE 1 Kylmähuoneiden, pakastushuoneiden, pikajäähdytyshuoneiden sekä jäävesipankin kylmätehojen laskentapohjat

## Kylmähuoneen 00.185 kylmätehon laskentapohja

KYLÄHUONE, LIHA (100,185KJ(21,5.m²)																								
Varaston ulkoilavuus										(m³)	(m³)	(m³)	(m³)	Huone lämpötila										
										3,858	5,965	2,285	52,6	21,5	0									
Rakenteiden kautta tapahtuva lämpövuoto:										(m)	(m)	(W/m²·C)	(°C)	(°C)	(h/d)									
Katto										3,858	5,965	0,3	0	21	24	0,001	-3,48		(kWh/d)					
Lattia										3,858	5,965	0,3	0	10	24	0,001	-1,66		(kWh/d)					
Seinät										3,858	2,285	0,3	0	21	24	0,001	-1,33		(kWh/d)					
Seinät										3,858	2,285	0,3	0	21	24	0,001	-1,33		(kWh/d)					
Seinät										5,965	2,285	0,3	0	4	24	0,001	-0,39		(kWh/d)		Energian sijoittuminen päivän tunneille (h)			
Seinät										5,965	2,285	0,3	0	4	24	0,001	-0,39		(kWh/d)	(h)	(kWh)			
Rakenteiden kautta tapahtuvallämpövuoto yhteensä:																-8,59	8,59	(kWh/d)	24	0,36				
										(m³)	(m³)	(kg/m³)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	(t-3)	Lisäovet (kWh/vrk/kpl)		kpl	(kWh/d)					
Ilmanvaihto, ovi:										70	52,58463645	52,58463645	1,4	40	3	2	3600	4	1	14,61	18,61	(kWh/d)	12	1,55
										(m³/s)	(kg/m3)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	(h/d)										
Ilmanvaihto, koneellinen:										0	1,4	0	0	24			0,00	0	(kWh/d)	24	0,00			
										(kg/d)	(kJ/kg·C)	(°C)	(°C)											
Tuotevaihto:										1075	3,2	4	0	3600			3,82	3,82	(kWh/d)	12	0,32			
										(kg/d)	(kJ/kg·C)	(°C)	(°C)											
Pakkausten luovuttama lämpö:										53,75	1	4	0	3600			0,060	0,060	(kWh/d)	24	0,00			
										(kg)	(kJ/kg.d)													
Tuotteiden hengityslämpö:										1000	0	3600					0	0	(kWh/d)	24	0,00			
										(hls)	(kWh/hls)	(h/d)												
Henkilöiden luovuttama lämpö:										0	0	0					0	0	(kWh/d)	24	0,00			
										(m²)	(W/m²)	(h/d)												
Valaistus:										21,5	8	2	0,001				0,344	0,344	(kWh/d)	12	0,03			
Kojekuormitus:										(kpl)	(kWh/d.kpl)	(h/d)												
Koje1:																0	0	(kWh/d)	1	0,00				
Koje2:																0	0	(kWh/d)	1	0,00				
										(kpl)	(kWh/d.kpl)													
Jakeluovet:										0	0						0	0	(kWh/d)	24	0,00			
										(kpl)	(kWh/d.kpl)													
Heiluriovet:										0	0						0	0	(kWh/d)	24	0,00			
										(kpl)	(kWh/d.kpl)	(h/d)												
Puhaltimet:										3	0,017	12					0,612	0,612	(kWh/d)	24	0,03			
												(kW)	(h/d)											
Sähkösulatus:										0,3	0	0					0	0	(kWh/d)	1	0,00			

## Kylmähuoneen 0.188 kylmätehon laskentapohja

[illegible]

## Kylmähuoneen 00.190 kylmätehon laskentapohja

[illegible]

## Kylmähuoneen 00.191 kylmätehon laskentapohja

[illegible]

## Kylmähuoneen 00.192 kylmätehon laskentapohja

PAKASTEHUONE (00.192K) (9,5 m³)	(m)	(m)	(m)	(m³)	(m²)	huone lämpötila									
Varaston ulkotilavuus	3,06	3,59	2,285	25,1	9,5	-20									
Rakenteiden kautta tapahtuva lämpövuoto:	(m)	(m)	(W/m²·°C)	(°C)	(°C)	(h/d)									
Katto	3,06	3,59	0,25	-20	21	24	0,001								
Lattia	3,06	3,59	0,25	-20	10	24	0,001								
Seinät	3,06	2,285	0,25	-20	21	24	0,001								
Seinät	3,06	2,285	0,25	-20	21	24	0,001								
Seinät	3,59	2,285	0,25	-20	21	24	0,001								
Seinät	3,59	2,285	0,25	-20	21	24	0,001								
Rakenteiden kautta tapahtuvaiämpövuoto yhteensä.															
		(m³)	(m³)	(kg/m³)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	(1-3)		Lisäövet (kWh/vrk/kpl)	kpl	(kWh/d)				
Ilmanvaihto, ovi:	70	25,101639	25,101639	1,4	40	-18	3	3600	10	0	23,73	23,73	(kWh/d)	12	1,98
	(m³/s)	(kg/m3)	(kj/kg)	(kj/kg)	(h/d)										
Ilmanvaihto, koneellinen:	0	1,4	0	0	24						0,00	0	(kWh/d)	24	0,00
	(kg/d)	(kj/kg °C)	(°C)	(°C)											
Tuotevaihto:	950	1,7	-18	-20	3600						0,90	0,90	(kWh/d)	12	0,07
	(kg/d)	(kj/kg °C)	(°C)	(°C)											
Pakkausten luovuttama lämpö:	47,5	1	-18	-20	3600						0,026	0,026	(kWh/d)	24	0,00
	(kg)	(kj/kg.d)													
Tuotteiden hengityslämpö:	700	0		3600							0	0	(kWh/d)	24	0,00
	(hlö)	(kW/hlö)	(h/d)												
Henkilöiden luovuttama lämpö:	0	0	0								0	0	(kWh/d)	12	0,00
	(m³)	(W/m³)	(h/d)												
Valaistus:	9,5	8	2	0,001							0,152	0,152	(kWh/d)	12	0,01
Kojekuormitus:	(kpl)	(kW/kpl)	(h/d)												
Koje1:											0	0	(kWh/d)	1	0,00
Koje2:											0	0	(kWh/d)	1	0,00
	(kpl)	(kW/d,kpl)													
Jakeluovet:	0	0									0	0	(kWh/d)	24	0,00
	(kpl)	(kW/d,kpl)													
Heiliriovet:	0	0									0	0	(kWh/d)	24	0,00
	(kpl)	(kW/kpl)	(h/d)												
Puhaltimet:	2	0,118	12								2,832	2,832	(kWh/d)	24	0,12
		(kW)	(h/d)												
Sähkösulatus:	0,3	1,52	1								0,456	0,456	(kWh/d)	1	0,46
									YHTEENSÄ:			40,25	(kWh/d)		
								x varmuuskerroin	1,2			48,30	(kWh/d)		
	(kWh/d)	(h/d)													
VARASTON KYLMÄTEHONTARVE:	48,3011	16										3,02	(kW)		

## Kylmähuoneen 00.193 kylmätehon laskentapohja

[illegible]



## Kylmähuoneen 00.196 kylmätehon laskentapohja

[illegible]

## Pakastushuoneen 00.197 kylmätehon laskentapohja

[illegible]

## Pakastushuoneen 00.198 kylmätehon laskentapohja

[illegible]

## Kylmähuoneen 00.201 kylmätehon laskentapohja

[illegible]

## Pakastushuone 00.214 kylmätehon laskentapohja

RUOKAVARASTO(DIEETTI), PAKASTE (00,214K) [9,5 m³]	(m)	(m)	(m)	(m²)	(m²)	Huone lämpötila																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											</
---	-----	-----	-----	------	------	-----------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

## Kylmähuoneen 00.215 kylmätehon laskentapohja

[illegible]

## Pikajäähdytysuoneiden 00.218 kylmätehon laskentapohja

[illegible]

## Kylmähuoneen 00.219 kylmätehon laskentapohja

[illegible]



## Kylmähuoneen 00.225 kylmätehon laskentapohja

[illegible]

## Kylmähuoneen 00.226 kylmätehon laskentapohja

[illegible]

## Jäävesipankin kylmäteho ja tunnissa siirtyvän lämpöenergian määrän laskentapohja

			Tilanumero	Kylmätilan nimi	Qj [kW]	
Vesijäähdytysyksikkö Packo PIB 160		Keittiölaiteluettelosta	443	Positio 50	Vesijäähdytysyksikkö Packo PIB 160	32
Päämitat	4000x1360x2280mm		kW	Kylmäkoneen käyntiaika (h/d)	kWh/d	Päivän tunnit jolloin kone on käynnissä (h/d) kWh
Paino:	7000 kg (täysinäisenä)		32	5	160	12 13,3
Sähköliittäntä:	230/50/1 0,50 kW ohjainyksikkö					
Sähköliittäntä:	3x 400/50/3 2,20 kW / jäävesipumput 3 kpl					
Kylmävesiliittäntä:	R 3/4"	Patoja 3 kpl (3 x 300 II)				
Viemäröinti:	R 1"					
Lattiakaivo:	DN 70					
	Ei materiaali vaatimuksia					
	Kompressorit 2 kpl					
Kylmäteho	16,28 kW (2 kpl)					
Sähköliittäntä:	2 x 400/50/3 13,17 kW					
	Kompressorit	(lämmöntalteenotto)				

# LIITE 2 Yhden työpäivän aikana talteen otettavan ja käyttöveden lämmittämiseen käytettävän lämpöenergian suhde

Työpäivä helmikuussa

Yhden työpäivän (12h) aikana lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluva ja kylmäkoneiden LTO:sta saatavan lämpöenergian jakautuminen																
	Energiaa kulutetaan, vaikka LTO-varaajasta loppuisi teho							kWh	kWh	Energian kulut lopetetaan jos energiaa ei ole (ainoastaan varastoidaan)						
klo	°C	°C	l	l/s	s	min	69,7			°C	°C	l	l/s	s	min	69,7
6	26	20	5000	2,4	2089,4	35	57,4	22,52		26	20	5000	2,4	2089,4	35	57,4
7	20	14	5000	2,4	2089,4	35	45,0	22,52		20	14	5000	2,4	2089,4	35	45,0
							45,0	45,03								45,03
7	26	20	5000	2,4	2089,4	35	38,0	27,85		26	20	5000	2,4	2089,4	35	38,0
8	20	14	5000	2,4	2089,4	35	31,0	27,85		20	14	5000	2,4	2089,4	35	31,0
							31,0	55,69								31,0
8	26	20	5000	2,4	2089,4	35	21,1	24,88		26	20	5000	2,4	2089,4	35	21,1
9	20	14	5000	2,4	2089,4	35	11,1	24,88		20	14	5000	2,4	2089,4	35	11,1
							11,1	49,76								11,1
9	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-0,1	23,61		26	20	5000	2,4	2089,4	35	34,7
10	20	14	5000	2,4	2089,4	35	-11,4	23,61		20	14	5000	2,4	2089,4	35	23,5
							-11,4	47,21								23,5
10	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-17,3	28,94		26	20	5000	2,4	2089,4	35	17,6
11	20	14	5000	2,4	2089,4	35	-23,2	28,94		20	14	5000	2,4	2089,4	35	11,6
							-23,2	57,87								11,6
11	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-31,8	26,27		26	20	5000	2,4	2089,4	35	3,1
12	20	14	5000	2,4	2089,4	35	-40,3	26,27		20	14	5000	2,4	2089,4	35	29,3
							-40,3	52,54								29,3
12	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-37,8	37,38		26	20	5000	2,4	2089,4	35	31,9
13	20	14	5000	2,4	2089,4	35	-35,3	37,38		20	14	5000	2,4	2089,4	35	34,4
							-35,3	74,75								34,4
13	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-35,4	34,71		26	20	5000	2,4	2089,4	35	34,3
14	20	14	5000	2,4	2089,4	35	-35,6	34,71		20	14	5000	2,4	2089,4	35	34,1
							-35,6	69,42								34,1
14	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-48,2	22,22		26	20	5000	2,4	2089,4	35	21,5
15	20	14	5000	2,4	2089,4	35	-60,8	22,22		20	14	5000	2,4	2089,4	35	8,9
							-60,8	44,43								8,9
15	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-68,1	27,55		26	20	5000	2,4	2089,4	35	1,6
16	20	14	5000	2,4	2089,4	35	-75,4	27,55		20	14	5000	2,4	2089,4	35	29,1
							-75,4	55,09								29,1
16	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-85,4	24,88		26	20	5000	2,4	2089,4	35	19,2
17	20	14	5000	2,4	2089,4	35	-95,3	24,88		20	14	5000	2,4	2089,4	35	9,2
							-95,3	49,76								9,2
17	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-126,3	3,90		26	20	5000	2,4	2089,4	35	13,1
18	20	14	5000	2,4	2089,4	35	-157,2	3,90		20	14	5000	2,4	2089,4	35	17,0
								7,8								7,8





## Työpäivä toukokuussa

Yhden työpäivän (12h) aikana lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluva ja kylmäkoneiden LTO:sta saatavan lämpöenergian jakautuminen																
	Energiaa kulutetaan, vaikka LTO-varaajasta loppuisi teho						kWh	kWh	Energian kulut lopetetaan jos energiaa ei ole (ainoastaan varastoidaan)						kWh	kWh
klo	°C	°C	l	l/s	s	min	69,7		°C	°C	l	l/s	s	min	69,7	
6	32	26	5000	2,4	2089,4	35	57,4	22,52	32	26	5000	2,4	2089,4	35	57,4	22,52
7	26	20	5000	2,4	2089,4	35	45,0	22,52	26	20	5000	2,4	2089,4	35	45,0	22,52
							45,0	45,03							45,0	45,03
7	32	26	5000	2,4	2089,4	35	38,0	27,85	32	26	5000	2,4	2089,4	35	38,0	27,85
8	26	20	5000	2,4	2089,4	35	31,0	27,85	26	20	5000	2,4	2089,4	35	31,0	27,85
							31,0	55,69							31,0	55,69
8	32	26	5000	2,4	2089,4	35	21,1	24,88	32	26	5000	2,4	2089,4	35	21,1	24,88
9	26	20	5000	2,4	2089,4	35	11,1	24,88	26	20	5000	2,4	2089,4	35	11,1	24,88
							11,1	49,76							11,1	49,76
9	32	26	5000	2,4	2089,4	35	-0,1	23,61	32	26	5000	2,4	2089,4	35	34,7	23,61
10	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-11,4	23,61	26	20	5000	2,4	2089,4	35	23,5	23,61
							-11,4	47,21							23,5	47,21
10	32	26	5000	2,4	2089,4	35	-17,3	28,94	32	26	5000	2,4	2089,4	35	17,6	28,94
11	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-23,2	28,94	26	20	5000	2,4	2089,4	35	11,6	28,94
							-23,2	57,87							11,6	57,87
11	32	26	5000	2,4	2089,4	35	-31,8	26,27	32	26	5000	2,4	2089,4	35	3,1	26,27
12	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-40,3	26,27	26	20	5000	2,4	2089,4	35	29,3	26,27
							-40,3	52,54							29,3	52,54
12	32	26	5000	2,4	2089,4	35	-37,8	37,38	32	26	5000	2,4	2089,4	35	31,9	37,38
13	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-35,3	37,38	26	20	5000	2,4	2089,4	35	34,4	37,38
							-35,3	74,75							34,4	74,75
13	32	26	5000	2,4	2089,4	35	-35,4	34,71	32	26	5000	2,4	2089,4	35	34,3	34,71
14	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-35,6	34,71	26	20	5000	2,4	2089,4	35	34,1	34,71
							-35,6	69,42							34,1	69,42
14	32	26	5000	2,4	2089,4	35	-48,2	22,22	32	26	5000	2,4	2089,4	35	21,5	22,22
15	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-60,8	22,22	26	20	5000	2,4	2089,4	35	8,9	22,22
							-60,8	44,43							8,9	44,43
15	32	26	5000	2,4	2089,4	35	-68,1	27,55	32	26	5000	2,4	2089,4	35	1,6	27,55
16	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-75,4	27,55	26	20	5000	2,4	2089,4	35	29,1	27,55
							-75,4	55,09							29,1	55,09
16	32	26	5000	2,4	2089,4	35	-85,4	24,88	32	26	5000	2,4	2089,4	35	19,2	24,88
17	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-95,3	24,88	26	20	5000	2,4	2089,4	35	9,2	24,88
							-95,3	49,76							9,2	49,76
17	32	26	5000	2,4	2089,4	35	-126,3	3,90	32	26	5000	2,4	2089,4	35	13,1	3,90
18	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-157,2	3,90	26	20	5000	2,4	2089,4	35	17,0	3,90
								7,8								7,8

## Työpäivä kesäkuussa

Yhden työpäivän (12h) aikana lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluva ja kylmäkoneiden LTO:sta saatavan lämpöenergian jakautuminen																
	Energiaa kulutetaan, vaikka LTO-varaajasta loppuisi teho						kWh	kWh	Energian kulut lopetetaan jos energiaa ei ole (ainoastaan varastoidaan)						kWh	kWh
klo	°C	°C	l	l/s	s	min	69,7		°C	°C	l	l/s	s	min	69,7	
6	34	28	5000	2,4	2089,4	35	57,4	22,52	34	28	5000	2,4	2089,4	35	57,4	22,52
7	28	22	5000	2,4	2089,4	35	45,0	22,52	28	22	5000	2,4	2089,4	35	45,0	22,52
							45,0	45,03							45,0	45,03
7	34	28	5000	2,4	2089,4	35	38,0	27,85	34	28	5000	2,4	2089,4	35	38,0	27,85
8	28	22	5000	2,4	2089,4	35	31,0	27,85	28	22	5000	2,4	2089,4	35	31,0	27,85
							31,0	55,69							31,0	55,69
8	34	28	5000	2,4	2089,4	35	21,1	24,88	34	28	5000	2,4	2089,4	35	21,1	24,88
9	28	22	5000	2,4	2089,4	35	11,1	24,88	28	22	5000	2,4	2089,4	35	11,1	24,88
							11,1	49,76							11,1	49,76
9	34	28	5000	2,4	2089,4	35	-0,1	23,61	34	28	5000	2,4	2089,4	35	34,7	23,61
10	28	22	5000	2,4	2089,4	35	-11,4	23,61	28	22	5000	2,4	2089,4	35	23,5	23,61
							-11,4	47,21							23,5	47,21
10	34	28	5000	2,4	2089,4	35	-17,3	28,94	34	28	5000	2,4	2089,4	35	17,6	28,94
11	28	22	5000	2,4	2089,4	35	-23,2	28,94	28	22	5000	2,4	2089,4	35	11,6	28,94
							-23,2	57,87							11,6	57,87
11	34	28	5000	2,4	2089,4	35	-31,8	26,27	34	28	5000	2,4	2089,4	35	3,1	26,27
12	28	22	5000	2,4	2089,4	35	-40,3	26,27	28	22	5000	2,4	2089,4	35	29,3	26,27
							-40,3	52,54							29,3	52,54
12	34	28	5000	2,4	2089,4	35	-37,8	37,38	34	28	5000	2,4	2089,4	35	31,9	37,38
13	28	22	5000	2,4	2089,4	35	-35,3	37,38	28	22	5000	2,4	2089,4	35	34,4	37,38
							-35,3	74,75							34,4	74,75
13	34	28	5000	2,4	2089,4	35	-35,4	34,71	34	28	5000	2,4	2089,4	35	34,3	34,71
14	28	22	5000	2,4	2089,4	35	-35,6	34,71	28	22	5000	2,4	2089,4	35	34,1	34,71
							-35,6	69,42							34,1	69,42
14	34	28	5000	2,4	2089,4	35	-48,2	22,22	34	28	5000	2,4	2089,4	35	21,5	22,22
15	28	22	5000	2,4	2089,4	35	-60,8	22,22	28	22	5000	2,4	2089,4	35	8,9	22,22
							-60,8	44,43							8,9	44,43
15	34	28	5000	2,4	2089,4	35	-68,1	27,55	34	28	5000	2,4	2089,4	35	1,6	27,55
16	28	22	5000	2,4	2089,4	35	-75,4	27,55	28	22	5000	2,4	2089,4	35	29,1	27,55
							-75,4	55,09							29,1	55,09
16	34	28	5000	2,4	2089,4	35	-85,4	24,88	34	28	5000	2,4	2089,4	35	19,2	24,88
17	28	22	5000	2,4	2089,4	35	-95,3	24,88	28	22	5000	2,4	2089,4	35	9,2	24,88
							-95,3	49,76							9,2	49,76
17	34	28	5000	2,4	2089,4	35	-126,3	3,90	34	28	5000	2,4	2089,4	35	13,1	3,90
18	28	22	5000	2,4	2089,4	35	-157,2	3,90	28	22	5000	2,4	2089,4	35	17,0	3,90
								7,8								7,8







## Työpäivä syyskuussa

Yhden työpäivän (12h) aikana lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluva ja kylmäkoneiden LTO:sta saatavan lämpöenergian jakautuminen																
	Energiaa kulutetaan, vaikka LTO-varaajasta loppuisi teho						kWh	kWh	Energian kulut lopetetaan jos energiaa ei ole (ainoastaan varastoidaan)						kWh	kWh
klo	°C	°C	l	l/s	s	min	69,7		°C	°C	l	l/s	s	min	69,7	
6	32	26	5000	2,4	2089,4	35	57,4	22,52	32	26	5000	2,4	2089,4	35	57,4	22,52
7	26	20	5000	2,4	2089,4	35	45,0	22,52	26	20	5000	2,4	2089,4	35	45,0	22,52
							45,0	45,03							45,0	45,03
7	32	26	5000	2,4	2089,4	35	38,0	27,85	32	26	5000	2,4	2089,4	35	38,0	27,85
8	26	20	5000	2,4	2089,4	35	31,0	27,85	26	20	5000	2,4	2089,4	35	31,0	27,85
							31,0	55,69							31,0	55,69
8	32	26	5000	2,4	2089,4	35	21,1	24,88	32	26	5000	2,4	2089,4	35	21,1	24,88
9	26	20	5000	2,4	2089,4	35	11,1	24,88	26	20	5000	2,4	2089,4	35	11,1	24,88
							11,1	49,76							11,1	49,76
9	32	26	5000	2,4	2089,4	35	-0,1	23,61	32	26	5000	2,4	2089,4	35	34,7	23,61
10	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-11,4	23,61	26	20	5000	2,4	2089,4	35	23,5	23,61
							-11,4	47,21							23,5	47,21
10	32	26	5000	2,4	2089,4	35	-17,3	28,94	32	26	5000	2,4	2089,4	35	17,6	28,94
11	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-23,2	28,94	26	20	5000	2,4	2089,4	35	11,6	28,94
							-23,2	57,87							11,6	57,87
11	32	26	5000	2,4	2089,4	35	-31,8	26,27	32	26	5000	2,4	2089,4	35	3,1	26,27
12	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-40,3	26,27	26	20	5000	2,4	2089,4	35	29,3	26,27
							-40,3	52,54							29,3	52,54
12	32	26	5000	2,4	2089,4	35	-37,8	37,38	32	26	5000	2,4	2089,4	35	31,9	37,38
13	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-35,3	37,38	26	20	5000	2,4	2089,4	35	34,4	37,38
							-35,3	74,75							34,4	74,75
13	32	26	5000	2,4	2089,4	35	-35,4	34,71	32	26	5000	2,4	2089,4	35	34,3	34,71
14	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-35,6	34,71	26	20	5000	2,4	2089,4	35	34,1	34,71
							-35,6	69,42							34,1	69,42
14	32	26	5000	2,4	2089,4	35	-48,2	22,22	32	26	5000	2,4	2089,4	35	21,5	22,22
15	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-60,8	22,22	26	20	5000	2,4	2089,4	35	8,9	22,22
							-60,8	44,43							8,9	44,43
15	32	26	5000	2,4	2089,4	35	-68,1	27,55	32	26	5000	2,4	2089,4	35	1,6	27,55
16	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-75,4	27,55	26	20	5000	2,4	2089,4	35	29,1	27,55
							-75,4	55,09							29,1	55,09
16	32	26	5000	2,4	2089,4	35	-85,4	24,88	32	26	5000	2,4	2089,4	35	19,2	24,88
17	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-95,3	24,88	26	20	5000	2,4	2089,4	35	9,2	24,88
							-95,3	49,76							9,2	49,76
17	32	26	5000	2,4	2089,4	35	-126,3	3,90	32	26	5000	2,4	2089,4	35	13,1	3,90
18	26	20	5000	2,4	2089,4	35	-157,2	3,90	26	20	5000	2,4	2089,4	35	17,0	3,90
								7,8								7,8

## Työpäivä lokakuussa

Yhden työpäivän (12h) aikana lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluva ja kylmäkoneiden LTO:sta saatavan lämpöenergian jakautuminen																
klo	Energiaa kulutetaan, vaikka LTO-varaajasta loppuisi teho						kWh	kWh	Energian kulut lopetetaan jos energiaa ei ole (ainoastaan varastoidaan)						kWh	kWh
	°C	°C	l	l/s	s	min	69,7		°C	°C	l	l/s	s	min	69,7	
6	30	24	5000	2,4	2089,4	35	57,4	22,52	30	24	5000	2,4	2089,4	35	57,4	22,52
7	24	18	5000	2,4	2089,4	35	45,0	22,52	24	18	5000	2,4	2089,4	35	45,0	22,52
							45,0	45,03							45,0	45,03
7	30	24	5000	2,4	2089,4	35	38,0	27,85	30	24	5000	2,4	2089,4	35	38,0	27,85
8	24	18	5000	2,4	2089,4	35	31,0	27,85	24	18	5000	2,4	2089,4	35	31,0	27,85
							31,0	55,69							31,0	55,69
8	30	24	5000	2,4	2089,4	35	21,1	24,88	30	24	5000	2,4	2089,4	35	21,1	24,88
9	24	18	5000	2,4	2089,4	35	11,1	24,88	24	18	5000	2,4	2089,4	35	11,1	24,88
							11,1	49,76							11,1	49,76
9	30	24	5000	2,4	2089,4	35	-0,1	23,61	30	24	5000	2,4	2089,4	35	34,7	23,61
10	24	18	5000	2,4	2089,4	35	-11,4	23,61	24	18	5000	2,4	2089,4	35	23,5	23,61
							-11,4	47,21							23,5	47,21
10	30	24	5000	2,4	2089,4	35	-17,3	28,94	30	24	5000	2,4	2089,4	35	17,6	28,94
11	24	18	5000	2,4	2089,4	35	-23,2	28,94	24	18	5000	2,4	2089,4	35	11,6	28,94
							-23,2	57,87							11,6	57,87
11	30	24	5000	2,4	2089,4	35	-31,8	26,27	30	24	5000	2,4	2089,4	35	3,1	26,27
12	24	18	5000	2,4	2089,4	35	-40,3	26,27	24	18	5000	2,4	2089,4	35	29,3	26,27
							-40,3	52,54							29,3	52,54
12	30	24	5000	2,4	2089,4	35	-37,8	37,38	30	24	5000	2,4	2089,4	35	31,9	37,38
13	24	18	5000	2,4	2089,4	35	-35,3	37,38	24	18	5000	2,4	2089,4	35	34,4	37,38
							-35,3	74,75							34,4	74,75
13	30	24	5000	2,4	2089,4	35	-35,4	34,71	30	24	5000	2,4	2089,4	35	34,3	34,71
14	24	18	5000	2,4	2089,4	35	-35,6	34,71	24	18	5000	2,4	2089,4	35	34,1	34,71
							-35,6	69,42							34,1	69,42
14	30	24	5000	2,4	2089,4	35	-48,2	22,22	30	24	5000	2,4	2089,4	35	21,5	22,22
15	24	18	5000	2,4	2089,4	35	-60,8	22,22	24	18	5000	2,4	2089,4	35	8,9	22,22
							-60,8	44,43							8,9	44,43
15	30	24	5000	2,4	2089,4	35	-68,1	27,55	30	24	5000	2,4	2089,4	35	1,6	27,55
16	24	18	5000	2,4	2089,4	35	-75,4	27,55	24	18	5000	2,4	2089,4	35	29,1	27,55
							-75,4	55,09							29,1	55,09
16	30	24	5000	2,4	2089,4	35	-85,4	24,88	30	24	5000	2,4	2089,4	35	19,2	24,88
17	24	18	5000	2,4	2089,4	35	-95,3	24,88	24	18	5000	2,4	2089,4	35	9,2	24,88
							-95,3	49,76							9,2	49,76
17	30	24	5000	2,4	2089,4	35	-126,3	3,90	30	24	5000	2,4	2089,4	35	13,1	3,90
18	24	18	5000	2,4	2089,4	35	-157,2	3,90	24	18	5000	2,4	2089,4	35	17,0	3,90
								7,8								7,8

## Työpäivä marraskuussa

Yhden työpäivän (12h) aikana lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluva ja kylmäkoneiden LTO:sta saatavan lämpöenergian jakautuminen																
	Energiaa kulutetaan, vaikka LTO-varaajasta loppuisi teho						kWh	kWh	Energian kulut lopetetaan jos energiaa ei ole (ainoastaan varastoidaan)						kWh	kWh
klo	°C	°C	l	l/s	s	min	69,7		°C	°C	l	l/s	s	min	69,7	
6	28	22	5000	2,4	2089,4	35	57,4	22,52	28	22	5000	2,4	2089,4	35	57,4	22,52
7	22	16	5000	2,4	2089,4	35	45,0	22,52	22	16	5000	2,4	2089,4	35	45,0	22,52
							45,0	45,03							45,0	45,03
7	28	22	5000	2,4	2089,4	35	38,0	27,85	28	22	5000	2,4	2089,4	35	38,0	27,85
8	22	16	5000	2,4	2089,4	35	31,0	27,85	22	16	5000	2,4	2089,4	35	31,0	27,85
							31,0	55,69							31,0	55,69
8	28	22	5000	2,4	2089,4	35	21,1	24,88	28	22	5000	2,4	2089,4	35	21,1	24,88
9	22	16	5000	2,4	2089,4	35	11,1	24,88	22	16	5000	2,4	2089,4	35	11,1	24,88
							11,1	49,76							11,1	49,76
9	28	22	5000	2,4	2089,4	35	-0,1	23,61	28	22	5000	2,4	2089,4	35	34,7	23,61
10	22	16	5000	2,4	2089,4	35	-11,4	23,61	22	16	5000	2,4	2089,4	35	23,5	23,61
							-11,4	47,21							23,5	47,21
10	28	22	5000	2,4	2089,4	35	-17,3	28,94	28	22	5000	2,4	2089,4	35	17,6	28,94
11	22	16	5000	2,4	2089,4	35	-23,2	28,94	22	16	5000	2,4	2089,4	35	11,6	28,94
							-23,2	57,87							11,6	57,87
11	28	22	5000	2,4	2089,4	35	-31,8	26,27	28	22	5000	2,4	2089,4	35	3,1	26,27
12	22	16	5000	2,4	2089,4	35	-40,3	26,27	22	16	5000	2,4	2089,4	35	29,3	26,27
							-40,3	52,54							29,3	52,54
12	28	22	5000	2,4	2089,4	35	-37,8	37,38	28	22	5000	2,4	2089,4	35	31,9	37,38
13	22	16	5000	2,4	2089,4	35	-35,3	37,38	22	16	5000	2,4	2089,4	35	34,4	37,38
							-35,3	74,75							34,4	74,75
13	28	22	5000	2,4	2089,4	35	-35,4	34,71	28	22	5000	2,4	2089,4	35	34,3	34,71
14	22	16	5000	2,4	2089,4	35	-35,6	34,71	22	16	5000	2,4	2089,4	35	34,1	34,71
							-35,6	69,42							34,1	69,42
14	28	22	5000	2,4	2089,4	35	-48,2	22,22	28	22	5000	2,4	2089,4	35	21,5	22,22
15	22	16	5000	2,4	2089,4	35	-60,8	22,22	22	16	5000	2,4	2089,4	35	8,9	22,22
							-60,8	44,43							8,9	44,43
15	28	22	5000	2,4	2089,4	35	-68,1	27,55	28	22	5000	2,4	2089,4	35	1,6	27,55
16	22	16	5000	2,4	2089,4	35	-75,4	27,55	22	16	5000	2,4	2089,4	35	29,1	27,55
							-75,4	55,09							29,1	55,09
16	28	22	5000	2,4	2089,4	35	-85,4	24,88	28	22	5000	2,4	2089,4	35	19,2	24,88
17	22	16	5000	2,4	2089,4	35	-95,3	24,88	22	16	5000	2,4	2089,4	35	9,2	24,88
							-95,3	49,76							9,2	49,76
17	28	22	5000	2,4	2089,4	35	-126,3	3,90	28	22	5000	2,4	2089,4	35	13,1	3,90
18	22	16	5000	2,4	2089,4	35	-157,2	3,90	22	16	5000	2,4	2089,4	35	17,0	3,90
								7,8								7,8

## Työpäivä joulukuussa

Yhden työpäivän (12h) aikana lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluva ja kylmäkoneiden LTO:sta saatavan lämpöenergian jakautuminen																
	Energiaa kulutetaan, vaikka LTO-varaajasta loppuisi teho							kWh	kWh	Energian kulut lopetetaan jos energiaa ei ole (ainoastaan varastoidaan)						
klo	°C	°C	l	l/s	s	min	69,7			°C	°C	l	l/s	s	min	69,7
6	27	21	5000	2,4	2089,4	35	57,4	22,52		27	21	5000	2,4	2089,4	35	57,4
7	21	15	5000	2,4	2089,4	35	45,0	22,52		21	15	5000	2,4	2089,4	35	45,0
							45,0	45,03								45,03
7	27	21	5000	2,4	2089,4	35	38,0	27,85		27	21	5000	2,4	2089,4	35	38,0
8	21	15	5000	2,4	2089,4	35	31,0	27,85		21	15	5000	2,4	2089,4	35	31,0
							31,0	55,69								55,69
8	27	21	5000	2,4	2089,4	35	21,1	24,88		27	21	5000	2,4	2089,4	35	21,1
9	21	15	5000	2,4	2089,4	35	11,1	24,88		21	15	5000	2,4	2089,4	35	11,1
							11,1	49,76								49,76
9	27	21	5000	2,4	2089,4	35	-0,1	23,61		27	21	5000	2,4	2089,4	35	34,7
10	21	15	5000	2,4	2089,4	35	-11,4	23,61		21	15	5000	2,4	2089,4	35	23,5
							-11,4	47,21								47,21
10	27	21	5000	2,4	2089,4	35	-17,3	28,94		27	21	5000	2,4	2089,4	35	17,6
11	21	15	5000	2,4	2089,4	35	-23,2	28,94		21	15	5000	2,4	2089,4	35	11,6
							-23,2	57,87								57,87
11	27	21	5000	2,4	2089,4	35	-31,8	26,27		27	21	5000	2,4	2089,4	35	3,1
12	21	15	5000	2,4	2089,4	35	-40,3	26,27		21	15	5000	2,4	2089,4	35	29,3
							-40,3	52,54								52,54
12	27	21	5000	2,4	2089,4	35	-37,8	37,38		27	21	5000	2,4	2089,4	35	31,9
13	21	15	5000	2,4	2089,4	35	-35,3	37,38		21	15	5000	2,4	2089,4	35	34,4
							-35,3	74,75								74,75
13	27	21	5000	2,4	2089,4	35	-35,4	34,71		27	21	5000	2,4	2089,4	35	34,3
14	21	15	5000	2,4	2089,4	35	-35,6	34,71		21	15	5000	2,4	2089,4	35	34,1
							-35,6	69,42								69,42
14	27	21	5000	2,4	2089,4	35	-48,2	22,22		27	21	5000	2,4	2089,4	35	21,5
15	21	15	5000	2,4	2089,4	35	-60,8	22,22		21	15	5000	2,4	2089,4	35	8,9
							-60,8	44,43								44,43
15	27	21	5000	2,4	2089,4	35	-68,1	27,55		27	21	5000	2,4	2089,4	35	1,6
16	21	15	5000	2,4	2089,4	35	-75,4	27,55		21	15	5000	2,4	2089,4	35	29,1
							-75,4	55,09								55,09
16	27	21	5000	2,4	2089,4	35	-85,4	24,88		27	21	5000	2,4	2089,4	35	19,2
17	21	15	5000	2,4	2089,4	35	-95,3	24,88		21	15	5000	2,4	2089,4	35	9,2
							-95,3	49,76								49,76
17	27	21	5000	2,4	2089,4	35	-126,3	3,90		27	21	5000	2,4	2089,4	35	13,1
18	21	15	5000	2,4	2089,4	35	-157,2	3,90		21	15	5000	2,4	2089,4	35	17,0
								7,8								7,8